

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos



INGENIERÍA INDUSTRIAL

POYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA DE BAJA  
TEMPERATURA PARA EL APOYO DE ACS Y CALEFACCIÓN DE UNA  
COMUNIDAD DE VIVIENDAS**

**AUTOR: PABLO RIAZA VILLAGRASA**

**TUTORA: MARÍA CONSUELO GÓMEZ PULIDO**

# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA PARA EL APOYO DE ACS Y CALEFACCIÓN DE UNA COMUNIDAD DE VIVIENDAS

**Autor: Riaza Villagrasa, Pablo**

Director: Gómez Pulido, María Consuelo.

Entidad Colaboradora: Universidad Carlos III de Madrid.

## **Resumen del proyecto**

El proyecto consiste en el diseño y dimensionado de una instalación de Energía Solar Térmica de Baja Temperatura de calefacción y ACS en un bloque de cuatro edificios de viviendas, localizado en la ciudad de Denia en Alicante.

Se han estudiado las demandas energéticas de ACS en atención a las características constructivas y funcionales del edificio. Se ha obtenido una demanda anual de 396200 MJ.

Conocida la demanda energética esperada, se han analizado los datos climáticos propios del emplazamiento de la instalación.

Con todos estos datos, se ha llevado a cabo el dimensionado del campo de colectores, que tiene un tamaño de 57,6 m<sup>2</sup>, y de los acumuladores mediante el método de cálculo F-Chart. El número de colectores para cubrir esa demanda y ese campo de colectores es de 16. Además se ha calculado que el consumo instantáneo de ACS debido al número de habitantes (200 habitantes) es de 67,37 litros/hora por persona.

Con los resultados obtenidos mediante este proceso de cálculo se ha escogido realizar la instalación con un campo de colectores compuesto por colectores de placa plana. Se ha de considerar un retorno invertido en la conexión de los captadores para no generar caminos preferentes. Asimismo se ha determinado la inclinación óptima del campo colector en 38,8°, aunque finalmente se utilizará una estructura de 39° de inclinación con la orientación óptima sur pura.

Además de la definición del campo de colectores, se ha diseñado el resto de subsistemas que componen la instalación: almacenamiento, transferencia térmica, fluido caloportador, trazado hidráulico y regulación. Se instalará un volumen total de acumulación de 4320 litros, repartido en dos acumuladores de 559 litros por edificio. El fluido caloportador contendrá Etilenglicol con una concentración del 10%, calculado mediante la temperatura mínima histórica. Se ha considerado el equilibrio en el circuito hidráulico y se han limitado las pérdidas de carga a valores aceptables. El sistema de tuberías tanto para el interconexionado de los colectores y la distribución hacia las viviendas, del ACS y de la calefacción también ha sido diseñado, así como los elementos que lo componen.

Para la calefacción en el circuito secundario, se ha instalado una válvula motorizada de tres vías y un sistema de regulación para que el líquido procedente de los colectores ceda calor al agua de retorno del circuito de calefacción mediante un intercambiador de calor de 10 kW cuando la caldera se conecta y la temperatura en los acumuladores sea superior a 45°C, o continúe a ACS si no se dan esas condiciones.

Se detallan los mecanismos de acción preventiva frente a efectos perjudiciales para la instalación, como los sobrecalentamientos. Para ello se ha realizado un desvío de los excedentes de energía en verano hacia la piscina, el sistema utilizado es similar al de calefacción. En este caso, se cede calor al circuito secundario de la piscina mediante un intercambiador de calor cuando la temperatura en la parte superior de los acumuladores es mayor de 90°C y se detiene esa transferencia si la temperatura en la parte superior de los acumuladores es inferior a 70°C.

El proyecto tiene una exposición del impacto ambiental derivado de utilizar este tipo de tecnología. Con esta instalación se evita el emitir a la atmósfera 17,74 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

Se ha incluido un estudio económico en el que se establece que el coste total de la obra será de 90524,96 € y será rentable pasados siete años de su instalación.



## DESIGN OF A LOW TEMPERATURE SOLAR THERMAL INSTALLATION FOR SUPPORTING THE HEATING AND DOMESTIC HOT WATER INSTALLATION OF A COMMUNITY OF HOUSING

This project consist of the design and measuring of a Thermal Solar System for Domestic Hot Water (DHW) and central heating on a joint of buildings, composed of three of them in the city of Denia in Alicante.

It has been analysed the DHW thermal needs being taken into account the assets of the utility in the building. The energy demanded for year is 396200 MJ.

Once known the energy demand, characteristic climate data have been analyzed.

The collector field, which is 57,6 m<sup>2</sup>, and the thermal storage has been designed by using the F-Chart calculation method with the data obtained previously. Sixteen collectors are needed for covering the energy demand and the collector field. The instant consumption of DHW is 67,37 l/h per person due to number of residents (200 people).

With the results obtained by this method the collector field is chosen to be formed by flat plate collectors. The system to interconnect the collectors between them has to be of reverse return to avoid preferential ways. Likewise 38,8 ° is the determined optimal lean of the collector field, but the structure lean is 39° and pure south is the optimal position of the collector in order to achieve the optimal performance of the system.

Once the collector surface has been set, the project contains the definition of the subsystems which form the system: thermal storage, thermal transference, transporting fluid, hydraulic design, control and regulation system. It will be installed a total volume of 4320 liters, distributed in two thermal storages of 559 liters for building. The transporting fluid will contend Etilenglicol at 10%, due to the historical minimum temperature. It is considered a balance in the hydraulic system and the charge loss is limited to acceptable values. The plumbing system of

DHW and heating for the connection between collector and the housing distribution has been designed, as well as the elements that compound them.

There is a three way motorized valve and a regulation system in the secondary system for heating. The heater exchanger of 10 kW transfers heat from the secondary circuit fluid to the heating circuit returned water, when the boiler is connected and the temperature in the thermal storage is above 45°C. If these conditions aren't satisfied, the primary circuit fluid continues to DHW.

Preventive action mechanisms against dangerous effects for the system like overheating are detailed. With this purpose, in summer, a detour of the energy excess has been made towards the pool, the system is similar as for heating. In this case, heat is returned fluid of the pool trough the heater exchanger when the temperature in the top of the thermal storage is above 90°C and the transference stops if the temperature in the top of the thermal storage is below 70°C.

This project also has an explanation of the environment benefits of using this kind of technology. With this installation 17,74 tons of CO<sub>2</sub> per year are avoided to be emitting to the atmosphere.

An economic study is also included. It shows that the overall cost is 90524,96 € and it is profitable in seven years.

# ÍNDICE GENERAL PROYECTO

## DOCUMENTO N°1, MEMORIA

---

### 1.1. Memoria Descriptiva

1.1.1. Descripción general del proyecto.....	2
1.1.2. Objeto del proyecto.....	3
1.1.3 Emplazamiento de la instalación.....	4
1.1.4. Motivación del proyecto.....	5
1.1.5. Introducción a la tecnología.....	7
1.1.6. Tecnología Solar Térmica de Baja Temperatura.....	8
1.1.7. Principios de la Energía Solar Térmica.....	11
1.1.8. Aplicaciones tecnológicas.....	21
1.1.9. Análisis del sector de la Energía Solar Térmica de Baja Temperatura.....	26
1.1.10. Normativa y legislación.....	36
1.1.10.1. Código técnico de la edificación.....	36
1.1.10.2. Ordenanza vigente en Alicante.....	38
1.1.10.3. Reglamento de las instalaciones térmicas de los Edificios (RITE).....	40
1.1.11. Principios de diseño.....	41
1.1.12. Impacto ambiental.....	47

### 1.2. Memoria Técnica.....49

1.2.1. Datos de partida.....	49
1.2.2. Características constructivas del bloque de viviendas.....	50

1.2.3. Datos climáticos.....	53
1.2.4. Caracterización del consumo de ACS.....	54
1.2.5. Análisis Energético del subconjunto de captación, Dimensionado y optimización de la Superficie colectora.....	57
1.2.6. Descripción de la Instalación Solar.....	62
1.2.7. Subconjunto de captación.....	63
1.2.8. Campo de colectores.....	63
1.2.9. Selección de Modelo de colector y análisis de opciones.....	68
1.2.10. Características constructivas y de funcionamiento.....	69
1.2.11. Consideraciones sobre el rendimiento.....	71
1.2.12. Diseño de la superficie colectora.....	72
1.2.13. Disposición del campo de colectores sobre la cubierta y circuito hidráulico.....	72
1.2.14. Estructura de soporte.....	72
1.2.15. Subconjunto de Acumulación.....	75
1.2.16. Dimensionado del Volumen de Acumulación.....	77
1.2.17. Subconjunto de termotransferencia.....	79
1.2.18. Distribución de ACS.....	80
1.2.19. Caudal de diseño.....	81
1.2.20. Dimensionado de tuberías.....	82
1.2.20.1. Aislamiento tuberías.....	91
1.2.21. Dimensionado de las bombas.....	93

1.2.22. Regulación.....	96
1.2.23. Vaso de expansión.....	98
1.2.24. Intercambiadores de calor.....	100
1.2.24.1. Transmisión de calor por conducción.....	101
1.2.24.2. Transmisión de calor por convección.....	101
1.2.24.3. Tipos de intercambiadores de calor.....	102
1.2.24.4. Componentes de un intercambiador de calor de placas.....	103
1.2.24.5. Ventajas y limitaciones en intercambiadores de calor de placas.....	104
1.2.25. Estudio económico.....	106
1.2.26. Plazo de ejecución.....	107
1.2.27. Resumen de presupuesto.....	107
<b>ANEXO I: Cálculos.....</b>	<b>109</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>179</b>

## DOCUMENTO N°2, PLANOS

---

<b>2. Planos.....</b>	<b>2</b>
2.1. Plano de esquema de principio.....	2
2.2. Plano planta general circuito primario.....	3
2.3. Plano de tramos del circuito secundario, edificio Norte y Sur.....	4
2.4. Plano de tramos del circuito secundario, edificios Este y Oeste.....	5
2.5. Plano de sombras planta general.....	6

2.6. Plano del circuito primario, edificio Norte.....	7
2.7. Plano del circuito primario, edificio Este.....	8
2.8. Plano del circuito primario, edificio Oeste.....	9
2.9. Plano del circuito primario, edificio Sur.....	10
2.10. Plano del circuito secundario, edificio Norte (planta).....	11
2.11. Plano del circuito secundario, edificios Este (planta).....	12
2.12. Plano del circuito secundario, edificios Oeste (planta).....	13
2.13. Plano del circuito secundario, edificios Sur (planta).....	14
2.14. Plano de ubicación.....	15

### **DOCUMENTO N°3, PLIEGO DE CONDICIONES**

---

<b>3.1. Condiciones generales.....</b>	<b>2</b>
3.1.1. Objeto y campo de aplicación.....	2
3.1.2. Generalidades.....	2
<b>3.2. Requisitos técnicos.....</b>	<b>4</b>
3.2.1. Fluido de trabajo.....	4
3.2.2. Protección contra heladas.....	5
3.2.3. Protección contra sobrecalentamientos.....	7
3.2.4. Resistencia a presión.....	8
3.2.5. Prevención flujo inverso.....	8
3.2.6. Prevención de la legionelosis.....	8
3.2.7. Clasificación de las instalaciones.....	9
3.2.8. Criterios generales de diseño.....	13
3.2.9. Diseño del sistema de captación.....	16
3.2.10. Estructura soporte.....	19

<b>3.3. Diseño del sistema de acumulación solar</b>	19
3.3.1. Situación de las conexiones	20
3.3.2. Varios acumuladores	21
3.3.3. Sistema auxiliar en el acumulador solar	22
3.3.4. Diseño del sistema de intercambio	24
<b>3.4. Diseño del circuito hidráulico</b>	25
3.4.1 Tuberías	25
3.4.2. Bombas	25
3.4.3. Vasos de expansión	26
3.4.4. Purga de aire	26
3.4.5. Drenaje	26
<b>3.5. Diseño del sistema de energía auxiliar</b>	27
<b>3.6. Diseño del sistema eléctrico y de control</b>	29
<b>3.7. Diseño del sistema de monitorización</b>	30
<b>ANEXO I</b>	32
<b>ANEXO II</b>	37
<b>ANEXO III</b>	46
<b>ANEXO IV</b>	53
<b>ANEXO V</b>	58
<b>ANEXO VI</b>	67
<b>ANEXO VII</b>	92
<b>ANEXO VIII</b>	104
<b>ANEXO IX</b>	115
<b>DOCUMENTO N°4, ESTUDIO ECONÓMICO</b>	
<b>4. Presupuesto</b>	2

4.1. Presupuesto y mediciones.....	2
4.2. Resumen de presupuesto.....	9
4.3. Estudio de amortización.....	10



1

# MEMORIA DESCRIPTIVA

---

<b>1.1. Memoria descriptiva.....</b>	<b>2</b>
1.1.1. Descripción general del proyecto.....	2
1.1.2. Objeto del proyecto.....	3
1.1.3 Emplazamiento de la instalación.....	4
1.1.4. Motivación del proyecto.....	5
1.1.5. Introducción a la tecnología.....	7
1.1.6. Tecnología Solar Térmica de Baja Temperatura.....	8
1.1.7. Principios de la Energía Solar Térmica.....	11
1.1.8. Aplicaciones tecnológicas.....	21
1.1.9. Análisis del sector de la Energía Solar Térmica de Baja Temperatura.....	26
1.1.10. Normativa y legislación.....	36
1.1.10.1. Código técnico de la edificación.....	36
1.1.10.2. Ordenanza vigente en Alicante.....	38
1.1.10.3. Reglamento de las instalaciones térmicas de los Edificios (RITE).....	40
1.1.11. Principios de diseño.....	41
1.1.12. Impacto ambiental.....	47
<b>1.2. Memoria Técnica.....</b>	<b>49</b>
1.2.1. Datos de partida.....	49
1.2.2. Características constructivas del bloque de viviendas.....	50
1.2.3. Datos climáticos.....	53
1.2.4. Caracterización del consumo de ACS.....	54
1.2.5. Análisis Energético del subconjunto de captación, Dimensionado y optimización de la Superficie colectora.....	57

---

1.2.6. Descripción de la Instalación Solar.....	62
1.2.7. Subconjunto de captación.....	63
1.2.8. Campo de colectores.....	63
1.2.9. Selección de Modelo de colector y análisis de opciones.....	68
1.2.10. Características constructivas y de funcionamiento.....	69
1.2.11. Consideraciones sobre el rendimiento.....	71
1.2.12. Diseño de la superficie colectora.....	72
1.2.13. Disposición del campo de colectores sobre la cubierta y circuito hidráulico.....	72
1.2.14. Estructura de soporte.....	72
1.2.15. Subconjunto de Acumulación.....	75
1.2.16. Dimensionado del Volumen de Acumulación.....	77
1.2.17. Subconjunto de termotransferencia.....	79
1.2.18. Distribución de ACS.....	80
1.2.19. Caudal de diseño.....	81
1.2.20. Dimensionado de tuberías.....	82
1.2.20.1. Aislamiento tuberías.....	91
1.2.21. Dimensionado de las bombas.....	93
1.2.22. Regulación.....	96
1.2.23. Vaso de expansión.....	98
1.2.24. Intercambiadores de calor.....	100
1.2.24.1. Transmisión de calor por conducción.....	101
1.2.24.2. Transmisión de calor por convección.....	101
1.2.24.3. Tipos de intercambiadores de calor.....	102

---

1.2.24.4. Componentes de un intercambiador de calor de placas.....	103
1.2.24.5. Ventajas y limitaciones en intercambiadores de calor de placas.....	104
1.2.25. Estudio económico.....	106
1.2.26. Plazo de ejecución.....	107
1.2.27. Resumen de presupuesto.....	107
<b>ANEXO I: Cálculos.....</b>	<b>109</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>179</b>

### **1.1. Memoria Descriptiva**

El objetivo de este documento es hacer una primera parte a modo de prólogo en la que se trataran los aspectos más generales del proyecto. Abarcando, la motivación, el destino que se quiere alcanzar con este proyecto, así como su objeto, completando con una introducción a las tecnologías empleadas. Además de lo citado anteriormente se incluye una breve explicación de las tecnologías empleadas y la normativa utilizada.

La memoria técnica constituye la parte central de este documento. En dicha parte se expone todo el proceso de diseño de la instalación a partir de los datos de partida utilizados, así como las decisiones de ingeniería adoptadas en base a estos, se expondrán las distintas opciones, justificando estas decisiones y concretándolas en soluciones de diseño y dimensionamiento. El proyecto se realiza teniendo en cuenta las necesidades energéticas de los edificios. A partir de estos datos se podrán dimensionar las distintas partes de la instalación como el área del campo de captadores, el volumen de acumulación, el sistema de generación de A.C.S. y demás. De acuerdo con el dimensionamiento se elegirán los modelos comerciales de los distintos componentes de la instalación que mejor se adapten a las necesidades.

#### **1.1.1. Descripción general del proyecto**

Este proyecto consiste en el cálculo y diseño del sistema de distribución de calefacción y Agua Caliente Sanitaria (A.C.S.), basándose como fuente principal de energía en una instalación de Energía Solar Térmica de Baja Temperatura, para un conjunto de cuatro edificios de viviendas multifamiliares localizado en la ciudad de Denia, en Alicante. Debido al emplazamiento geográfico y meteorológico del proyecto, se incluye en el alcance el diseño de la desviación de los excedentes de energía recogidos por los colectores hacia una piscina en los meses que no sea necesario el uso de la calefacción. El sistema solar térmico diseñado cubre las necesidades de A.C.S. en una proporción de contribución según

las especificaciones del nuevo Código Técnico de la Edificación, para llegar a cubrir el 100% de la demanda de agua caliente en las puntas de demanda (típicamente durante los meses de invierno), además de generar calor suficiente para cubrir las necesidades de calefacción. Es parte fundamental del proyecto diseñar la instalación de forma que se cumplan las exigencias técnicas de bienestar e higiene, eficiencia energética y seguridad que establece el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

Asimismo se realizará un estudio de impacto ambiental en el que se calculará la reducción de las emisiones de gases contaminantes, tales como el CO<sub>2</sub>, a la atmósfera.

### **1.1.2. Objeto del Proyecto**

Especificar el conjunto de elementos que componen el sistema es el principal objetivo del proyecto, así como su interacción como partes integrantes del conjunto a definir.

Aunque se ha mencionado la desviación de los excedentes a la piscina comunitaria, el presente proyecto se centra principalmente en el sistema de A.C.S. y calefacción, alimentada por la instalación de Energía Solar Térmica de Baja Temperatura, por lo que se estudia en menor profundidad el sistema de tuberías de reparto a las viviendas, así como la desviación de los excedentes hacia la piscina.

El diseño de la instalación supone un intento de optimizar el compromiso entre aquellas variables que se consideran más importantes para el desarrollo del proyecto:

- *Rendimiento de la instalación*: Variable relacionada con el correcto dimensionado de todo el sistema y la regulación del mismo, para que la potencia térmica que este proporciona esté disponible cuando y como quiera el usuario final.

- *Rentabilidad económica*: Idea fundamental en cualquier proyecto de corte clásico y que determina la viabilidad del mismo.

- *Legislación y normativa vigentes-criterio de buenas prácticas*: La entrada en vigor del nuevo Código Técnico de la Edificación regula el marco legal en el cual se tienen que desarrollar todos los proyectos de instalaciones de este tipo. Como en cualquier proyecto de instalaciones, existe un conjunto de buenas prácticas, comúnmente asumidas por todos los diseñadores, lo que facilita el trabajo de los mismos.

- *Integración de la instalación*: el dimensionado de todos los elementos de la instalación ha de ajustarse en relación a las cotas de los planos del edificio.

El CTE considera que el objetivo básico del sistema solar es suministrar al usuario una instalación solar que:

- a) Optimice el ahorro energético global de la instalación en combinación con el resto de equipos térmicos del edificio.
- b) Garantice una durabilidad y calidad suficientes.
- c) Garantice un uso seguro de la instalación.

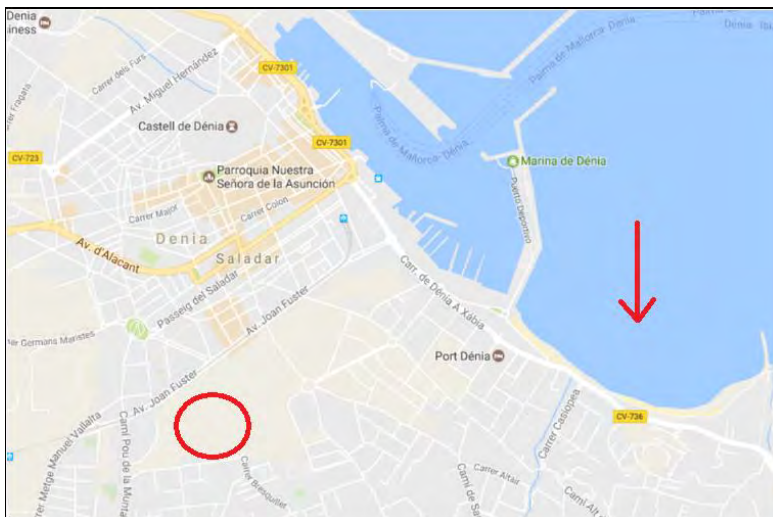
### **1.1.3. Emplazamiento de la instalación**

Ubicado en la ciudad de Denia en Alicante, el conjunto de cuatro edificios de viviendas unifamiliares es donde se diseñará la instalación de la que es objeto este proyecto con la finalidad de abastecimiento de calefacción y A.C.S.

El edificio donde irá colocada la instalación está situado en una parcela amplia, con orientación Norte-Sur donde los captadores estarán orientación Sur. Las características climatológicas del emplazamiento propician la idoneidad de este tipo de instalación.

El emplazamiento del edificio es bastante adecuado para este tipo de instalaciones debido a que a su alrededor no existen edificios ni objetos

que puedan proyectar sombra sobre el sistema de captación y producir pérdidas importantes en este.



*Fig. 1: Ubicación del bloque de viviendas  
(Dirección sur marcada).*

#### 1.1.4. Motivación del proyecto

La energía solar es un tipo de energía renovable y limpia, perteneciente al grupo de energías las cuales provienen de fuentes respetuosas con el medio ambiente, ya que no inciden sobre él de manera negativa. Los cambios científico-tecnológicos modernos han llevado al hombre a buscar y construir las más diversas maneras de aprovechar esta energía y convertirlas en el soporte de la vida en la tierra

Por ello, la principal motivación es que la utilización de la Energía Solar Térmica supone una notable reducción en la emisión de gases de efecto invernadero respecto a las instalaciones de A.C.S. con calderas de Gas Natural o gasóleo según las propuestas surgidas del protocolo de Kioto. Esto se consigue con una instalación basada 100% en energías renovables, siguiendo una filosofía de ahorro y diversificación de las fuentes de energía.



A continuación para reafirmar la motivación de este proyecto se enumeran las siguientes ventajas que la energía solar tiene sobre otras fuentes de energía no renovables:

- Es una tecnología que está altamente desarrollada y de rápida instalación.
- En zonas apartadas o donde el tendido eléctrico no llega, o es dificultoso y caro, es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo.
- Dado el carácter consumible de los combustibles tradicionales hace que dado el ritmo de consumo actual, mientras las reservas tienden a agotarse el coste aumenta. Mientras que para la energía solar el coste disminuye a medida que aumenta la tecnología.
- Es una fuente de energía no contaminante. Sin emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y los impactos ambientales por la contaminación de aire y agua son bajos.
- Proviene de una fuente de energía inagotable.

No obstante el uso de la energía solar no está exenta de desventajas, tales como:

- Son necesarias grandes extensiones de terreno para recolectar energía solar a gran escala.
- Al principio es necesaria una gran inversión inicial, de modo puede desalentar a los compradores.
- Los lugares desérticos y alejados, en los que la energía no se aprovecha para desarrollar actividad agrícola o industrial, etc... son los lugares donde hay mayor radiación.
- El nivel de radiación no es fijo, fluctúa de una estación del año a otra y de una zona geográfica a otra. Lógicamente la radiación solar es menor en invierno, precisamente cuando es más necesaria.

- Se debe complementar este método de convertir energía con otros. La energía solar puede ser complementada con otras energías convencionales, para evitar la necesidad de grandes y costosos sistemas de acumulación.

### 1.1.5. Introducción a la tecnología

En este apartado se tratan distintos aspectos relacionados con la tecnología energética de Energía Solar Térmica de Baja Temperatura, principio en el que se basa dicha tecnología, principales aplicaciones tecnológicas y estado actual de su mercado.

Captando de forma adecuada la radiación solar puede obtenerse calor y electricidad. El calor se logra mediante los captadores o colectores térmicos, y la electricidad, a través de los denominados módulos fotovoltaicos. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación.

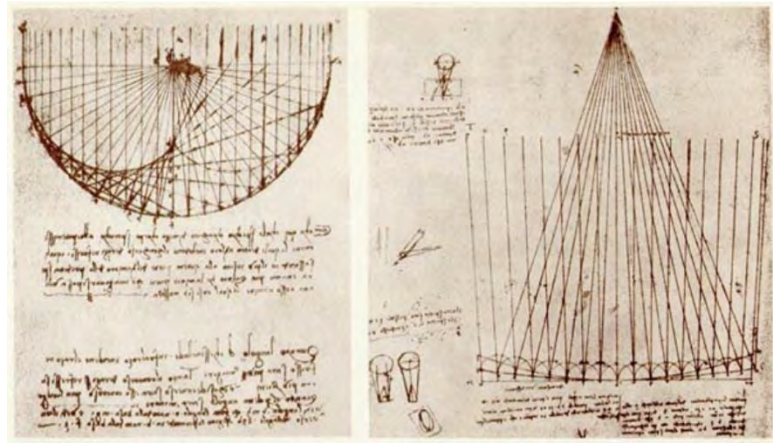
- *Sistemas de aprovechamiento térmico:* El calor recogido en los colectores puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a las viviendas, hoteles, colegios, fábricas, etc. Incluso se pueden climatizar las piscinas y permitir el baño durante gran parte del año. Otra de las más prometedoras aplicaciones del calor solar es la refrigeración durante las épocas cálidas. En efecto, la obtención de frío requiere una fuente de calor, la cual puede perfectamente tener su origen en unos colectores solares instalados en el tejado o azotea. Las aplicaciones agrícolas son muy amplias. Con invernaderos solares pueden obtenerse mayores y más tempranas cosechas; los secaderos agrícolas consumen mucha menos energía si se combinan con un sistema solar. Otro ejemplo son las plantas de purificación o desalinización de aguas que pueden funcionar sin consumir ningún tipo de combustible.

- *Sistemas de aprovechamiento eléctrico:* Actualmente los paneles solares se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, puesto que los paneles que carecen de partes móviles, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo, no contaminan ni producen ningún ruido en absoluto y no consumen combustible. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes. La electricidad que así se obtiene puede usarse de manera directa (por ejemplo para sacar agua de un pozo o para regar, mediante un motor eléctrico), o bien puede ser almacenada en acumuladores para usarse en las horas nocturnas. También es posible inyectar la electricidad generada en la red general, obteniendo un importante beneficio. Si se consigue que el precio de las células solares siga disminuyendo, iniciándose su fabricación a gran escala, es muy probable que, para la segunda década del siglo, una buena parte de la electricidad consumida en los países ricos en sol tenga su origen en la conversión fotovoltaica.

#### **1.1.6. Tecnología Solar Térmica de Baja Temperatura**

El potencial energético de Sol se conoce desde la antigüedad, un ejemplo es según las leyendas que mientras tenía lugar el asedio a la ciudad de Siracusa (212 a.C.), se dice que mediante un sistema de espejos, Arquímedes logra quemar varias naves romanas concentrando sobre ellas la luz del Sol. Aunque lógicamente se ha demostrado que con los espejos y los medios de la época esta hazaña imposible, no deja de ser importante el hecho que se conocía bien el enorme potencial destructivo de los rayos del Sol ya entonces.

Muchos siglos después, Leonardo Da Vinci diseñó también un espejo parabólico concentrador, proyecto que, como otros muchos, dejó inacabado.



*Fig. 2: Bocetos ilustrativos del espejo parabólico y espejo esférico ideados por Da Vinci.*

Estos ejemplos sirven para ilustrar que en prácticamente todas las épocas de la Historia, desde la antigüedad hasta nuestros días, se han desarrollado o intentado desarrollar ingenios capaces de aprovechar la energía solar, con distintos fines.

En el sector que se han logrado mayores resultados es en la arquitectura. Ya que durante el siglo XIX, con el objetivo de un elevado confort interior, florecieron en toda Europa casas y edificios acristalados y convenientemente orientados para lograr un óptimo aprovechamiento de la radiación natural, especialmente en zonas donde los días invernales eran fríos pero soleados.

En la historia reciente gracias a la irrupción a gran escala de los combustibles fósiles, la humanidad conoció una época de derroche y despreocupación en cuanto a los inconvenientes de un consumo de energía constantemente creciente, debido en gran medida a que es una energía barata fácilmente transportable y, posteriormente, con la implantación de la electricidad a nivel mundial.

No fue sino hasta la década de los 70's, en la que los problemas derivados del abastecimiento y del aumento del precio del petróleo por una parte, y una todavía muy débil pero incipiente conciencia ecológica por otra, cuando se empezó a considerar de forma un tanto seria la opción solar como alternativa, al menos parcial.

Los primeros diseños que se empezaron a utilizar y se aceptaron más rápidamente, fueron la obtención de agua caliente mediante colectores solares planos, con un diseño sencillo al principio, para uso doméstico, tanto las sociedades desarrolladas como las que se encontraban (y se encuentran) en niveles económicos más bajos.

Paralelamente, los paneles fotovoltaicos capaces de, sin parte móvil alguna, convertir la luz solar directamente en electricidad útil, carísimos dispositivos que se empelaban al principio casi exclusivamente en satélites artificiales, comenzaron a producirse en mayor escala, consiguiéndose así un abaratamiento progresivo del costo por watt de potencia eléctrica obtenido, lo que permitió solucionar el problema de miles de viviendas que, por encontrarse en zonas aisladas, carecían de luz eléctrica.

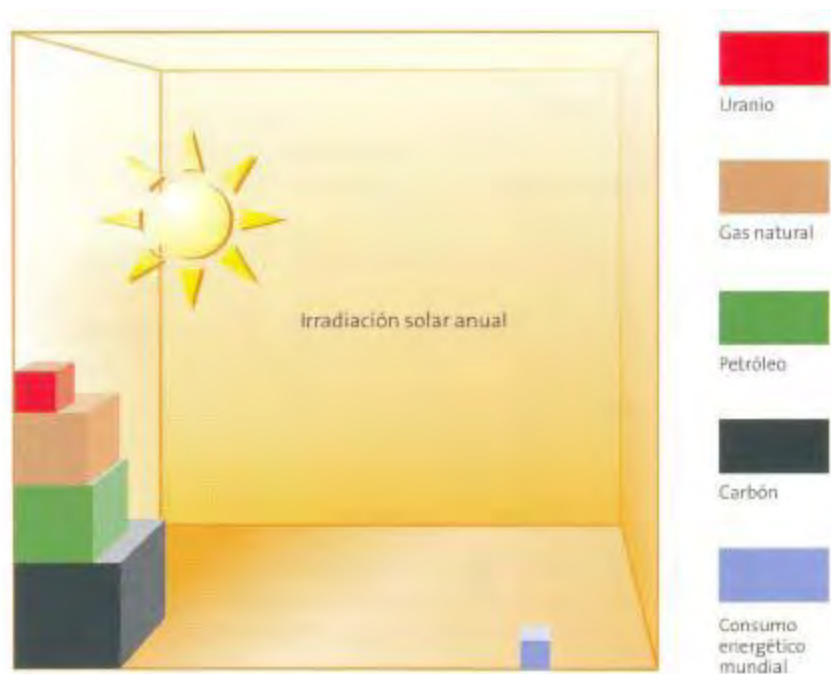
El uso de esta tecnología hasta la fecha ha sido tímidamente fomentada por los gobiernos e instituciones estatales. Este hecho sumado al estancamiento de los precios de los combustibles convencionales y los intereses de las grandes compañías que monopolizan la producción y el consumo de energía, han contribuido posiblemente a frenar el desarrollo de la tecnología destinada a facilitar el aprovechamiento de la energía solar.

Así se llega al nuevo milenio, nuestra época actual, en las que las gravísimas consecuencias de la contaminación, en todos los niveles y sectores de la población, unidas al deseo de un autocontrol de la energía que se consume, han hecho que se manifieste un creciente deseo de utilizar energías limpias y renovables, entre las cuales la energía solar ocupa un lugar destacado.

La realidad es que casi todas las formas de energía que conocemos proceden directa o indirectamente de la energía solar.

### 1.1.7. Principios de la Energía Térmica Solar

El Sol es una estrella que se encuentra en la fase denominada secuencia principal, que se formó hace unos 5 mil millones de años. Aunque no nos demos cuenta es la fuente principal, directa o indirectamente de casi toda la energía que se consume en la Tierra, y hace imposible la vida en la Tierra sin su energía. La principal fuente de energía de la vida, la llamada cadena trófica, tiene como base los seres fotosintéticos que aprovechan directamente la energía solar. En lo que a los procesos climáticos se refiere también aporta la energía que los mantiene en funcionamiento.



*Fig. 3: Irradiación solar anual en la superficie terrestre frente a los recursos de energía Disponible en forma de carbón, petróleo, gas natural y uranio, así como comparación a escala Mundial con la demanda energética anual.*

EL Sol se comporta como un cuerpo negro a esta temperatura, y emite energía en forma de radiación, siguiendo la ley de Planck. La energía que nos llega se produce por medio de reacciones termonucleares en su Núcleo. Esta energía es transmitida mediante mecanismos convectivos y radiativos hacia la superficie del Sol, denominada fotosfera, que se encuentra a una temperatura de entre 5000K y 6000K. Siguiendo el

tránsito de la energía solar, desde la fotosfera, la energía es irradiada por el espacio con simetría esférica en todas direcciones. La energía que genera el Sol (unos  $3,78 \times 10^{26}$  W) es constante. Dado que la Tierra orbita al Sol a una distancia de aproximadamente 149 millones de kilómetros y se mueve en una órbita casi circular alrededor del Sol, la energía que recibe la superficie terrestre, que será la energía solar que atraviesa una superficie esférica (ST) con radio la órbita de la tierra, tendrá como valor medio anual:

Eq.1:

$$\frac{\text{Potencia producida por el Sol}}{\text{Superficie esférica } S_T} = \frac{3,78 \times 10^{26} \text{ W}}{4\pi \cdot (149 \times 10^9 \text{ m})^2} = 1353 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Este es el valor es conocido como la irradiación media anual de la superficie terrestre y es internacionalmente. Como este valor permanece prácticamente constante a lo largo de todo el año, se ha convenido en llamar a esta energía como Constante Solar-GSC.

Entrando en el tipo de energía que llega a la Tierra, la energía que recibimos del Sol se compone exclusivamente de radiación electromagnética. El espectro de longitudes de onda de esta energía es muy amplio. A efectos de aprovechamiento sólo son válidas las radiaciones consideradas en el espectro de radiación ultravioleta (7%), radiación visible (47%) y radiación infrarroja (45%).

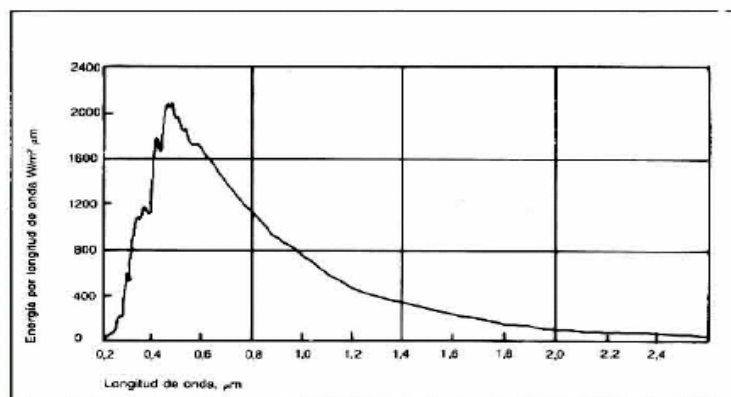


Fig. 4: Irradiación espectral estándar frente a la distancia que separa la Tierra del Sol.

La radiación que llega a la Tierra, que es la forma en que llega la energía del Sol es una onda. Como toda onda está sometida a procesos de reflexión, absorción y difusión. Los colectores planos aprovechan como energía útil la suma de la radiación directa del sol, la difundida desde la atmósfera y el denominado albedo (en contraste con los colectores solares de concentración que solo captan la radiación directa). El albedo es la radiación reflejada en cualquier cuerpo situado sobre la superficie terrestre, y que puede suponer una gran cantidad de energía. La cantidad total de energía radiante que llega a una superficie en un tiempo determinado se denomina irradiación. A la hora de cuantificar la irradiación hay que tener en cuenta que, dependiendo de las condiciones atmosféricas, la irradiación puede ser de origen directo o difusa (en un día nublado, el 100% es de origen difuso).

El ángulo formado por los rayos y la superficie (en nuestro caso, un colector solar plano) influye en la cantidad de energía debida a la radiación que recibe esa superficie. Ya que hay ciertas peculiaridades del movimiento orbital terrestre que lo apartan del modelo de movimiento circular perfecto que antes se ha descrito para calcular la Constante Solar, el ángulo de incidencia con la superficie terrestre no depende únicamente de la latitud, la hora solar. Si fuese una órbita perfectamente circular dependería solo de la latitud. . En particular, la excentricidad de la órbita terrestre, que hacen que la órbita sea una elipse con el Sol en uno de sus focos, y la inclinación del eje de spin terrestres con relación al plano orbital en un Angulo de veintitrés grados y veintisiete minutos, generan la dinámica de las estaciones solares y la diferente distribución diaria del número de horas de sol según las estaciones.



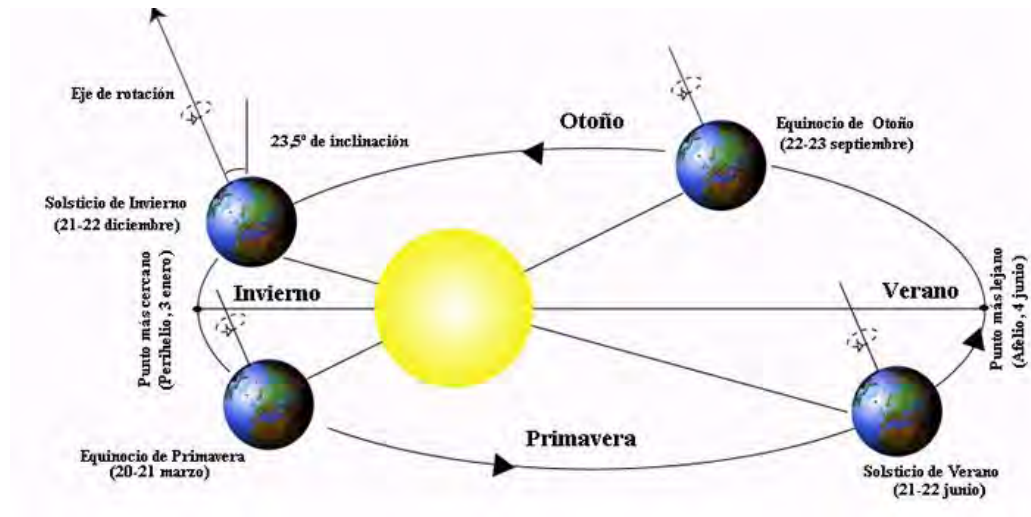


Fig. 5: Órbita terrestre a lo largo del año en la que se aprecia la inclinación del Ángulo de Spin.

Se Puede parametrizar la dependencia del Ángulo de incidencia de los rayos solares en el colector en función de las siguientes variables:

- *Declinación o Ángulo cenital:* Ángulo de la posición del Sol respecto al cenit (vertical) de un observador situado en el Ecuador Terrestre.

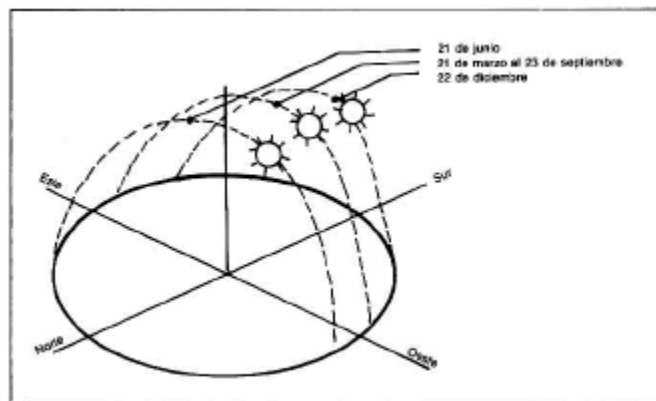


Fig. 6: Variación máxima anual de la declinación en un Punto medio de la superficie terrestre.

- *Latitud Geográfica.*

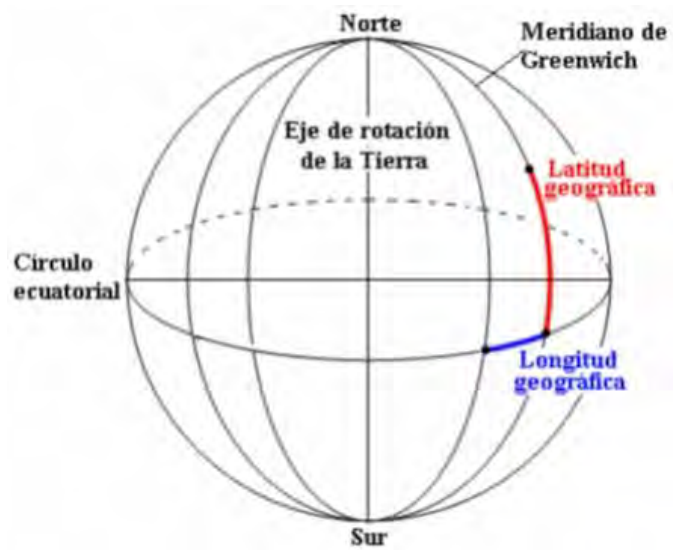


Fig. 7: Latitud  $\varphi$ .

- *Angulo de inclinación del colector con la horizontal del terreno.*
- *Orientación del colector:* Angulo que forma el plano perpendicular al colector con la dirección meridiana.
- *Angulo Horario:* el ángulo horario es el arco de ecuador contado desde el punto de intersección del ecuador con el meridiano del observador hasta el círculo horario del astro, en sentido horario.

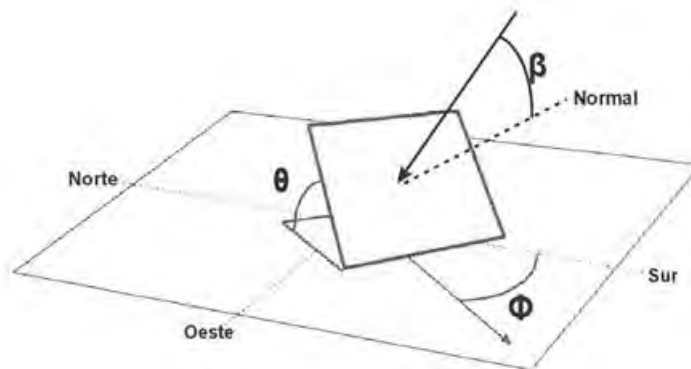


Fig. 8: Representación de los ángulos de inclinación  $\theta$ , orientación  $\Phi$  e incidencia  $\beta$ .

La tecnología denominada de Baja Temperatura se usa a nivel de instalaciones de A.C.S. y calefacción para construcción. La tecnología Solar Térmica de Alta Temperatura que está basada en la concentración de la radiación solar mediante espejos es empleada en la generación eléctrica.

La transformación de energía electromagnética solar en energía térmica se produce en el denominado colector solar (también llamado captador solar).

Para entender el principio físico que ocurre en los colectores solares es necesario conocer el funcionamiento del conocido “efecto invernadero”. Este efecto se basa en el comportamiento que algunas superficies presentan en sus coeficientes de Absortancia (Radiación Absorbida/Radiación Incidente) y Emitancia (Emisión real/Emisión del cuerpo negro a la misma temperatura) ante la radiación solar. Estas superficies se denominan “superficies selectivas”. El cociente entre estos dos parámetros es lo que se conoce como Selectividad de una superficie:

**Eq. 2:**

$$\text{Selectividad} = \frac{\text{Absorbancia}}{\text{Emitancia}}$$

Las superficies captadoras de energía solar tienen que comportarse como superficies selectivas, para ello es necesario que tengan una elevada absortancia para la radiación visible e infrarroja próxima y a su vez una reducida emitancia en el infrarrojo lejano, calentándose intensamente bajo el efecto de la radiación solar, pero sin que ello conlleve una pérdida de energía por el reducido valor de su emitancia.

La mayor parte de la energía radiativa solar se encuentra en las longitudes de onda del espectro visible e infrarrojo próximo (longitudes de onda inferiores a 3  $\mu\text{m}$ ) y los equipos de captación solar en aplicaciones de baja temperatura funcionan a una temperatura media de alrededor de 80 °C, lo que se corresponde a una emisión radiativa en el espectro infrarrojo lejano.



*Fig. 9: Espectro típico de emisividad y absorptancia de un colector solar de placas planas.*

La tecnología de captación solar más extendida a nivel mundial es la de colectores solares de placas planas. Aunque la aplicación del principio en el que se basa el efecto invernadero difiera ligeramente entre los distintos tipos de colectores solares existentes se generalizan los resultados modelando en base a la tecnología de placas planas.

Dentro de este tipo de colectores los componentes fundamentales son el absorbedor o superficie captadora, que se comporta como una superficie selectiva, y la cubierta transparente, que asegura el principio del efecto invernadero. Dichos componentes intervienen en la conversión de energía electromagnética en energía térmica utilizable.

Cuando la energía solar incide en la cubierta transparente permite el paso de casi todos los tipos de radiación, la cual incide sobre la superficie del absorbedor. Esta se calienta y emite radiación en forma de infrarrojo lejano hacia la cubierta, rango de espectro para el cual la cubierta, que solo es transparente a la radiación de ciertas longitudes de onda, es opaca.

De este modo se produce el efecto invernadero, al no poder salir al exterior la radiación emitida por la placa absorbidora rebotando la en la cubierta transparente, esta queda confinada al espacio comprendido entre ambas superficies, y redundando en el aumento de temperatura del absorbedor.



**Fig. 10:** Balance energético de un colector solar considerado como Volumen de control.

Es necesario realizar un balance energético de entrada y salida del sistema, considerado como un volumen de control. Para ellos se modela el volumen Primer Principio de la Termodinámica.

La intensidad de energía radiante multiplicada por la superficie del colector, que corresponde a la energía entrante se ve modificada por los efectos de reflexión, absorción y transmisión de ondas.

Esta radiación incidente calienta primero la superficie absorbedora, como ya hemos visto, y desde ésta se transmite el calor útil, por conducción al fluido calo portador.

Como se puede apreciar en la *figura 10*, las pérdidas que se producen en el colector solar serán:

- *Pérdidas producidas en la superficie transparente, dado que el valor de su transmitancia  $\tau < 1$ .*
- *Pérdidas producidas en el absorbedor, puesto que el valor de su absorptancia  $\alpha < 1$ .*
- *Pérdidas producidas por la ineficacia de la transmisión térmica entre el absorbedor y el fluido calo portador*

- *Pérdidas por conducción, convección y radiación:* El colector transmite calor a la carcasa que lo contiene mediante conducción, y pérdidas por convección y radiación, que dependen, respectivamente, de la velocidad local del viento y de la diferencia de temperaturas entre el absorbedor y el ambiente (esta última variable es fundamental para el rendimiento del colector, como se expone a continuación).

La ecuación con la que se representan todas estas variables se denomina ecuación de *Bliss*:

**Eq.3:**

$$E = F_R * S * [I * (\alpha * \tau) - U (t_m^0 - t_a^0)]$$

Donde:

$S$  = Superficie del colector ( $m^2$ ).

$I$  = Radiación incidente total sobre el colector por unidad de superficie ( $W/m^2$ ).

$\tau$  = Transmitancia de la cubierta transparente.

$\alpha$  = Absortancia de la placa absorbadora.

$U$  = Coeficiente global de pérdidas por conducción, convección y radiación [ $W / (m^2 * ^\circ C)$ ].

$F_R$  = Factor de eficacia o coeficiente de transporte de calor entre la placa absorbadora y el fluido de trabajo.

$t_m^0$  = Temperatura media del fluido calo portador en el colector solar

$t_a^0$  = Temperatura ambiente media.

Aunque normalmente los fabricantes ofrecen curvas de pérdidas de carga con sus productos, y de hecho en este proyecto se utilizarán dichas curvas.

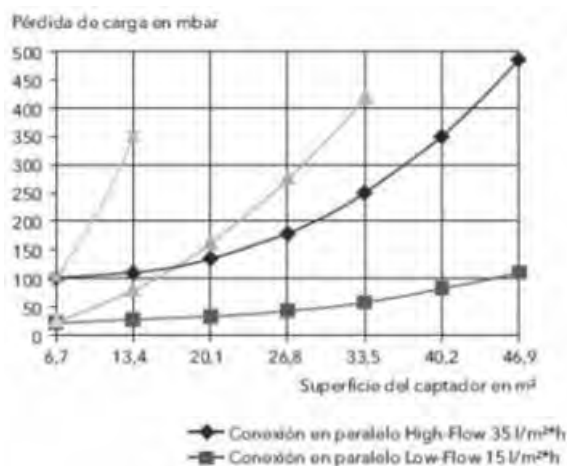


Fig. 11: Curva de pérdida de carga RAND RAL 4S.

El rendimiento de un colector solar  $\eta$  es la relación entre la potencia térmica generada por unidad de área y la irradiancia solar incidente.

Eq.4:

$$\eta = \frac{E}{I \cdot S} = F_R \left[ (\tau\alpha)_N - \frac{U \cdot (t_m^0 - t_a^0)}{I} \right]$$

Al igual que con las pérdidas de carga el fabricante ofrece una curva con el rendimiento del colector, o bien los datos necesarios para introducirlos en la fórmula. En este proyecto se hallará con la fórmula.

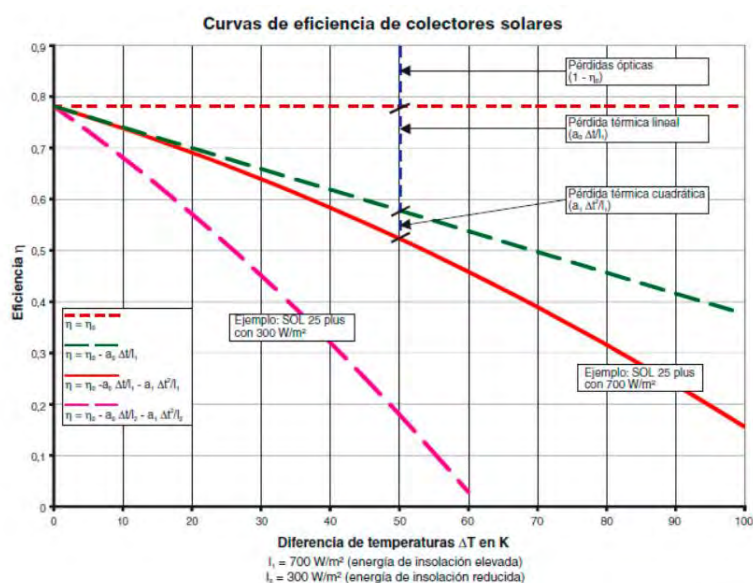


Fig. 12: Curva de rendimiento de un captador solar en función de la diferencia de temperaturas entre el captador y el ambiente, con la irradiancia como parámetro.

Como se puede apreciar en la figura 12, el rendimiento de un colector solar es muy sensible a la diferencia de temperaturas entre el ambiente y la placa absorbedora, ya que las pérdidas por convección y radiación crecen exponencialmente con la temperatura. Esto conlleva el ya conocido uso de estos colectores únicamente para aplicaciones térmicas de baja temperatura, puesto que su uso en aplicaciones donde la temperatura sea superior a 90°C requeriría una superficie colectora excesivamente grande.

#### 1.1.8. Aplicaciones Tecnológicas

- *Agua Caliente Sanitaria:* Esta es, de largo, la aplicación más extendida de la EST BT. Con los sistemas de energía solar térmica podemos cubrir el 100% de la demanda de agua caliente durante el verano y del 50% al 80% del total a lo largo del año, pudiendo ser mayor, dependiendo de la zona. Entre las razones que hacen que esta tecnología sea muy apropiada para este tipo de usos, cabe destacar los niveles de temperaturas que se precisan alcanzar, normalmente entre 40 y 45° C, que coinciden con los más adecuados para el buen funcionamiento de los sistemas solares estándar que se comercializan en el mercado. Hay dos tipos principales de diseños para esta aplicación:
  - *Termosifónicos o de circulación natural:* Estos equipos están basados en el efecto de circulación natural que se produce por la variación de densidad que sufren los líquidos con el aumento de la temperatura. El proceso se desarrolla de la siguiente forma:
    1. El líquido contenido en el interior del captador se calienta con la radiación solar.



2. Por circulación natural el líquido caliente tiende a ascender hasta llegar al depósito ubicado en la parte superior.

3. El líquido calentado por el sol circula a través del serpentín situado en el interior del depósito acumulador o por un depósito envolvente situado en el exterior.

4. Se produce un intercambio de calor entre el líquido que circuló por el captador y el contenido en el acumulador donde se almacena el agua caliente sanitaria (ACS) destinada al consumo.

5. El agua precalentada por el sistema solar llega ya caliente al equipo auxiliar (caldera, termo eléctrico, etc).

Este circuito es completamente independiente del agua de consumo. Estos sistemas sólo se pueden emplear en instalaciones de pequeño tamaño, en las que existe una clara estratificación de temperaturas en los acumuladores de calor y en climas en los que no se alcancen temperaturas muy frías. Estos tienen, sin embargo, la gran ventaja de su simplicidad frente a los sistemas de circulación forzada.

- *Sistemas de circulación forzada*, como el de la instalación de este proyecto, sistemas que se describirán en profundidad en capítulos posteriores.
- *Sistemas combinados de A.C.S. y calentamiento de espacio (Combysystems)*: En los casos en los que la necesidad de calefacción convencional es de larga duración se utiliza el calentamiento solar activo del espacio como apoyo. Dado que los sistemas tienen que adaptarse a las necesidades de climatización del edificio en que están instaladas, estos sistemas son más complejos que los utilizados en la producción de A.C.S. Los sistemas de calefacción de radiadores convencionales requieren temperaturas del orden de 90°C, pero los colectores

solares de placas planas tienen un rendimiento muy bajo a esas temperaturas. Por lo que se emplean instalaciones de calefacción por suelo radiante, que funcionan eficazmente en un rango de temperaturas entre 30 y 40°C.

También se aplica la tecnología térmica solar en sistemas integrados de calefacción y ventilación por aire en grandes construcciones (edificios públicos y usos industriales). El inconveniente que tiene es que la superficie colectora necesaria es muy grande, lo que reduce la utilidad de estos sistemas sólo a este tipo de edificios. No obstante el uso de aire como fluido de trabajo presenta indudables ventajas, como la ausencia de fugas y evitar el peligro de aire, además de su fácil integración en sistemas de acondicionamiento de aire.

- *Calefacción solar de distrito:* integra las instalaciones solares térmicas en las redes de distribución de los sistemas convencionales de calefacción de distrito. Los sistemas de calefacción de distrito deben ir acompañados de una alta calidad en la envolvente térmica de los edificios buscando la máxima reducción de su demanda de energía para calefacción. Integrando la calefacción solar se pueden alcanzar, con un esfuerzo económico razonable, tasas de cobertura solar de hasta el 50% del consumo de energía térmica. En cualquier caso, salvo algunas experiencias realizadas, los sistemas solares de calefacción de distrito no han conseguido implantarse en España. Entre los motivos cabe aducir la falta de madurez tecnológica, las grandes dimensiones de los campos de captación (de hasta 18300 m<sup>2</sup> para una capacidad térmica de 10 MW) que han de distribuirse por varios edificios y la necesidad de acumuladores de gran tamaño. Los sistemas con acumulación estacional forman una variante de los sistemas de calefacción de distrito. Los sistemas solares de distrito con

acumulación estacional se caracterizan por acumular toda la energía solar excedente del periodo de verano para atender parte de la demanda de calefacción del periodo de invierno. Los acumuladores estacionales son costosos y plantean problemas de concepción y ejecución a los ingenieros, arquitectos e instaladores especializados.

- *Refrigeración solar:* El aprovechamiento de la energía solar para producir frío es una de las aplicaciones térmicas con mayor futuro, pues las épocas en las que más se necesita enfriar el espacio coinciden con las que se disfruta de mayor radiación solar. Además, esta alternativa permite aprovechar las instalaciones solares durante todo el año, empleándolas en invierno para calefacción y en verano para la producción de frío. La forma más utilizada para este aprovechamiento es el sistema de refrigeración por absorción. El funcionamiento de estos equipos se basa en la capacidad de determinadas sustancias para absorber un fluido refrigerante. Como absorbentes se utilizan principalmente el amoníaco o el bromuro de litio, y como líquido refrigerante, el agua. En sistemas de climatización por máquinas de absorción donde el calor útil para separar el refrigerador del absorbedor se obtiene de un sistema de EST BT, o bien, en enfriamiento mediante absorción de humedad del aire por sustancia secante (como los Silica Gel), en el que el calor de operación se usa para regenerar al elemento secante.
- *Climatización de piscinas:* aplicación muy extendida de la tecnología solar, en uso en España desde hace más de 20 años. En las piscinas al aire libre resulta bastante económico lograr una temperatura estable y placentera, en primer lugar porque, al circular el agua de la piscina directamente por los captadores solares, no es necesario utilizar ningún tipo de

intercambiador de calor ni sistema de acumulación. Y en segundo lugar, porque la temperatura de trabajo suele ser tan baja, en torno a los 30° C, que permite prescindir de cubiertas o cualquier otro material aislante. En el caso de piscinas cubiertas, el sistema es más complejo, ya que deben contar con una fuente energética de apoyo, pero son perfectamente compatibles con otras aplicaciones de aprovechamiento solar, como ACS o calefacción. Al estar sada en el empleo de colectores solares más sencillos sin cubierta transparente. Estos colectores sencillos y baratos están contruidos, básicamente, por tubos de metal o plástico recubiertos de pigmentos ennegrecidos por los que circula el agua. No incluyen ningún aislamiento adicional, de manera que la ganancia de temperatura queda limitada a unos 20°C sobre la del aire del ambiente, puesto que estos sistemas tienen un gran rendimiento óptico pero unas pérdidas térmicas muy elevadas. Estos colectores resultan muy apropiados cuando se requieren temperaturas poco elevadas, como en la climatización de piscinas. El agua se calienta en el filtro de la piscina a través de un intercambiador conectado al circuito solar.

- *Aplicaciones Industriales:* Cada vez son más las aplicaciones de esta energía en el ámbito de la industria, en procesos que requieren un considerable caudal de calor para secar, cocer, limpiar o tratar ciertos productos. Como en procesos de secado utilizados en agricultura, o requerimientos de secado en usos industriales, aplicaciones que no requieren grandes elevaciones de temperatura (entre 10 y 15 °C), que se pueden alcanzar con sistemas solares simples.

También se utiliza tecnología de baja temperatura en aplicaciones de desalinización de aguas.

Con el objetivo de no incrementar mucho la inversión en tecnología, en aplicaciones donde el requerimiento sea menor (como en España), es suficiente empleo de sistemas de colectores de placas planas.

Los colectores solares de vacío tienen un mayor rendimiento que los de placas planas, pero para que su inversión sea rentable se utilizan para desarrollar aplicaciones a procesos de mayor exigencia energética, como pueden ser procesos de calefacción-climatización solar o procesos industriales.

### **1.1.9. Análisis del sector de la Energía Solar Térmica de Baja Temperatura**

#### **Futuro de la energía solar**

El futuro de la energía solar reside en constatar que es una fuente de fuente como una solución viable al reemplazo de los combustibles fósiles.

Puesto que el Sol es una fuente de energía gratuita y accesible a todos los habitantes del planeta es fundamental saber aprovecharla.

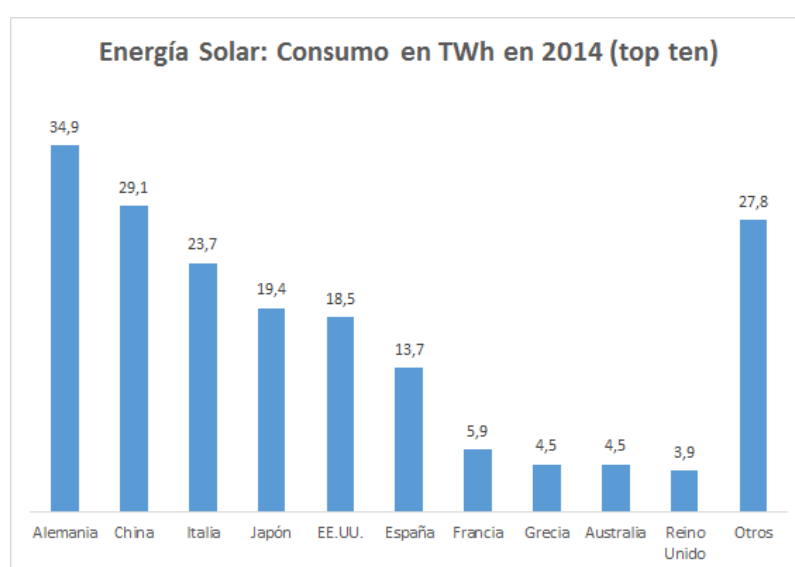
La energía solar es la que ayudará a las naciones más pobres a vivir dignamente. Aunque el Sol sí es una fuente de energía gratuita, las energías eléctrica y térmica derivadas tecnológicamente de él no lo son debido a las costosas instalaciones que han de amortizarse y mantenerse. Es imprescindible que sobre todo para los países más pobres los gobiernos subvencionen la comercialización de los colectores solares.. El objetivo es diseñar instalaciones eficientes y operativas que, aunque parcialmente basadas en energías renovables, proporcionen un servicio de calidad similar a las actuales. Ello pasa por la integración de las energías renovables en sistemas híbridos que alcancen los siguientes objetivos:

- La reducción en el consumo de energía primaria.
- La reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera.
- La estabilidad del suministro eléctrico.

En definitiva, no bastará con disminuir el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles. Dicha disminución deberá ir acompañada de una modificación en las políticas energéticas, mirando por recursos energéticos inagotables e inocuos como la energía solar.

### Situación Internacional

La potencia térmica mundial en funcionamiento mediante sistemas de energía solar ascendía, a finales del año 2014, a 410,2 GWth asociados a instalaciones con una superficie total de 586 millones de metros cuadrados.



*Fig. 13: Distribución del consumo de la energía solar en el año 2014.*

La gran mayoría de la capacidad total en operación se instaló en China (289,5 GWth) y en Europa (47,5 GWth), que en conjunto representaron el 82,1% de la capacidad total instalada. La capacidad instalada restante fue compartida entre los Estados Unidos y Canadá (18.0 GWth), Asia sin contar China (10.7 GWth), Latinoamérica (10.0 GWth), los países Israel, Jordania, Líbano, Marruecos, Territorios Palestinos y Túnez (6,6 GWth), Australia y Nueva Zelanda (6,2 GWth) y los países africanos subsaharianos Lesotho, Mauricio, Mozambique, Namibia, Sudáfrica y Zimbabwe (1,3 GWth). Se estima que el volumen de mercado de “todos los demás países” asciende al 5% del total de instalaciones (20,5 GWth).

El desglose de la capacidad acumulada en funcionamiento en 2014 por tipo de colector es el 22,1% de colectores de placas planas, el 71,1% de colectores de tubos de vacío, el 6,3% de colectores de agua y el 0,4% de colectores de aire vidriados

La evolución del mercado internacional pone de manifiesto que los mercados más dinámicos se localizan en China, Australia y Nueva Zelanda y Europa. De hecho, el mercado chino lidera, tanto la capacidad absoluta instalada, como el crecimiento del mercado solar, aunque se encuentra aún lejos de mostrar la intensidad de otros mercados, como el austriaco, el chipriota o el israelí (donde el 80% de los edificios residenciales están equipados con sistemas de baja temperatura, con uso mayoritario en producción de A.C.S.).

Los principales países de la capacidad acumulada de acumuladores de agua no vidriada y acristalada en funcionamiento en 2014 por 1.000 habitantes fueron Austria (419 kW / 1.000 habitantes), Chipre (412 kW / 1.000 habitantes), Israel (400 kW / 1.000 habitantes) y Barbados (318 kWth (1.000 habitantes), Grecia (278 kW / 1.000 habitantes), los territorios palestinos (275 kW / 1.000 habitantes), Australia (260 kW / 1.000 habitantes), China (213 kW / 1.000 habitantes) ) Y Alemania (158 kW / 1.000 habitantes)

Desde el punto de vista de las aplicaciones a que son destinadas las instalaciones de energía solar, en Estados Unidos y Canadá el uso predominante es el calentamiento de piscinas mediante colectores no vidriados, mientras que en China, Taiwán, Europa y Japón las instalaciones son utilizadas para producir agua caliente sanitaria y calefacción mediante tecnologías basadas en colectores vidriados y de vacío. La tecnología de colectores solares de tubos de vacío es la predominante a nivel mundial, con el 41% de la capacidad instalada en el mundo.

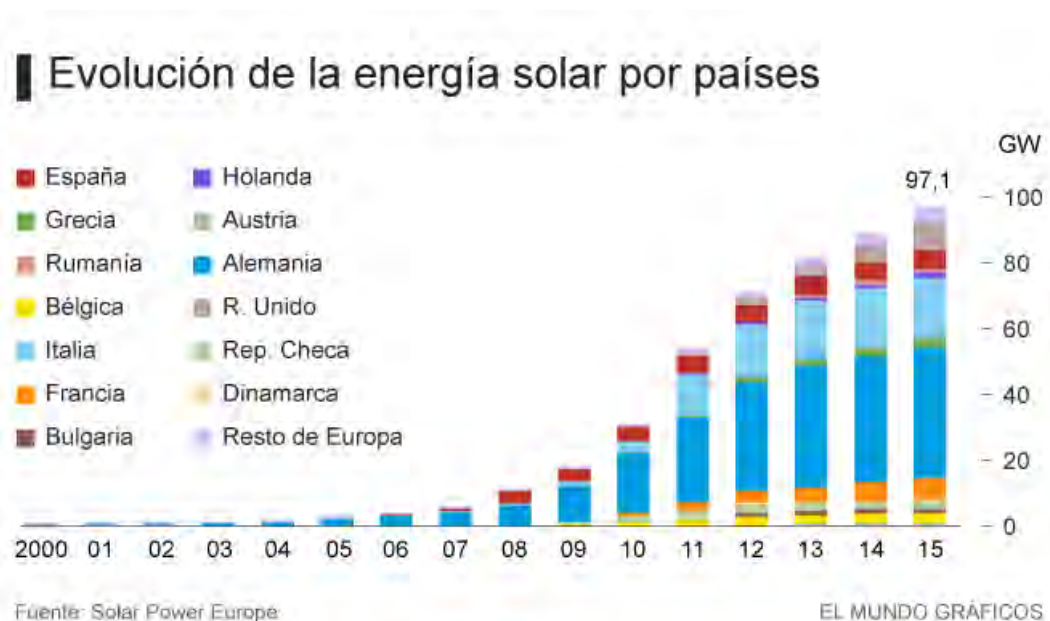
En el año 2014, una capacidad total de 46,7 GWth, correspondiente a 66,7 millones de metros cuadrados de colectores solares, fue instalado en todo el mundo.

Los principales mercados se situaron en China (36,7 GWth) y Europa (3,4 GWth), que en conjunto representaron el 85,9% de las nuevas instalaciones totales de colectores en 2014. El resto del mercado se repartió entre América Latina (1,3 GWth), Asia sin contar China. La región de MENA representada por Israel, Jordania, Líbano, Marruecos, Territorios Palestinos y Túnez (0,5 GWth), Australia (0,5 GWth), y la región subsahariana. Los países africanos Lesotho, Mauricio, Mozambique, Sudáfrica y Zimbabwe (0,1 GWth). Se calcula que el volumen de mercado de “todos los demás países” asciende al 5% de las nuevas instalaciones (2,3 GWth).

De los 10 principales mercados en 2014, se registraron incrementos positivos en Brasil (+ 4,5%), India (+ 7,0%), Estados Unidos (+ 0,9%), México (+ 18,2%) y Grecia (+ 19,1%). China (-17,6%), Turquía (-0,8%), Alemania (-9,8%), Australia (-21,1%) e Israel (-13,4%) sufrieron mermas en el mercado.

En términos de nueva capacidad solar térmica instalada por 1.000 habitantes en 2014, Israel tomó la delantera una vez más, por delante de China y los territorios palestinos (Cisjordania y la Franja de Gaza). Debido a los logros sobresalientes en el campo de la calefacción solar de distrito en los últimos años, Dinamarca ocupa el cuarto lugar en este aspecto, incluso por delante de los mercados solares térmicos maduros como Grecia, Turquía y Austria.





*Fig. 14: Evolución de la energía solar en Europa.*

Un dato muy representativo del grado de desarrollo del sector de la EST BT para cualquier país es la capacidad de captación en operación per cápita. Comparando este dato entre los países europeos, se puede apreciar un fuerte desequilibrio en la penetración de la EST BR. El sector chipriota (poco representativo, dado su pequeño tamaño) destaca claramente sobre los demás.

### **Situación en España**

La energía solar en España es una fuente de energía que se encuentra en una fase avanzada de desarrollo, instalación y aprovechamiento. Se puede subdividir en tres tipos, principalmente: energía solar fotovoltaica, energía solar térmica y energía solar termoeléctrica.

España es uno de los países de Europa con mayor cantidad de horas de sol, a lo que se unen los compromisos europeos en instalación de energías renovables así como la conveniencia estratégica de disminuir la gran dependencia energética exterior y aumentar la autonomía energética.

La implantación de la energía solar en el mercado español ha tenido distintas velocidades de desarrollo a lo largo de las últimas décadas. Los primeros pasos en el la tecnología de aprovechamiento de la energía solar se comenzaron a dar a finales de la década de los 70 y principios de los 80. Está época coincide con la crisis energética que afectaba a España y se crearon unas expectativas sobre la utilización de la energía solar demasiado sobredimensionadas para las posibilidades reales durante los primero años.

Dadas las buenas perspectivas del mercado surgieron un gran número de empresas que no en todos los casos contaban con las suficientes garantías técnicas de calidad y fiabilidad. Esto provocó que algunas instalaciones no dieran los resultados previstos y, lo que es peor, la sensación de que la energía solar térmica ofrecía baja durabilidad, mal rendimiento y problemas frecuentes para el usuario.

Posteriormente, en el periodo que va desde 1985 a 1995, los precios energéticos sufrieron un fuerte descenso y la sensación de crisis energética desapareció. Las entidades relacionadas con las instalaciones solares que continuaban en el mercado se afianzaron y la demanda se estabilizó a un nivel de aproximadamente 10.000 m<sup>2</sup> por año.

Todo ello contribuyó a que España fuera inicialmente uno de los primeros países a nivel mundial en investigación, desarrollo y aprovechamiento de la energía solar. Gracias a una legislación favorable, España fue en 2008 uno de los países con más potencia fotovoltaica instalada del mundo, con 2708 MW instalados en un sólo año.

A partir de ese año, la potencia solar instalada ha ido aumentando. A finales de 2013 la potencia instalada de energía solar fotovoltaica era de unos 4681 MW, y la de energía solar térmica de unos 2300 MW, es decir, un total de 6981 MW, cubriendo el 4,9 % de la demanda de energía eléctrica ese mismo año

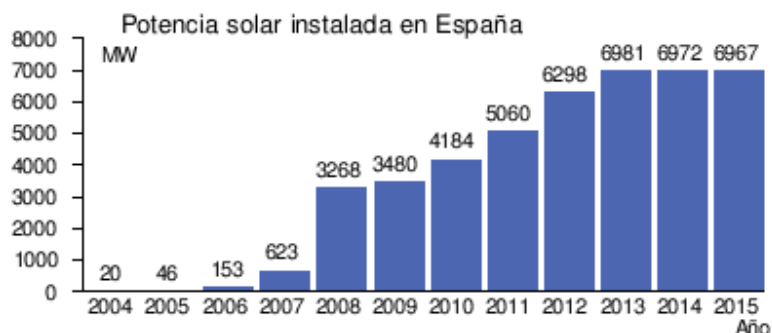


Fig. 15: Evolución histórica de la superficie instalada en España.

Actualmente, el sector en España presenta los siguientes números:

- *Industria española:* Cabe destacar la labor de las empresas fabricantes de captadores con fábrica en España, que han suministrado el 30% de los captadores instalados en España. Pero los datos de captadores fabricados en España instalados en el mismo territorio, contrastan con la gran capacidad de producción de los fabricantes nacionales más representativos. En España existe una capacidad aproximada de producción de 1.300.000 m<sup>2</sup>, fabricando en 2016 149.500 m<sup>2</sup>, menos del 11,5% de su potencial, de los cuales 63.500 m<sup>2</sup> se instalaron en España y 86.000 m<sup>2</sup> se exportaron.

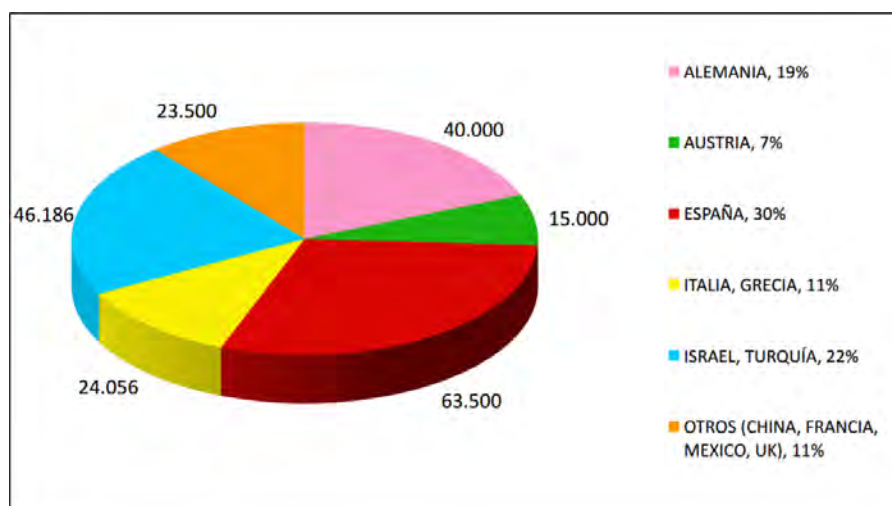
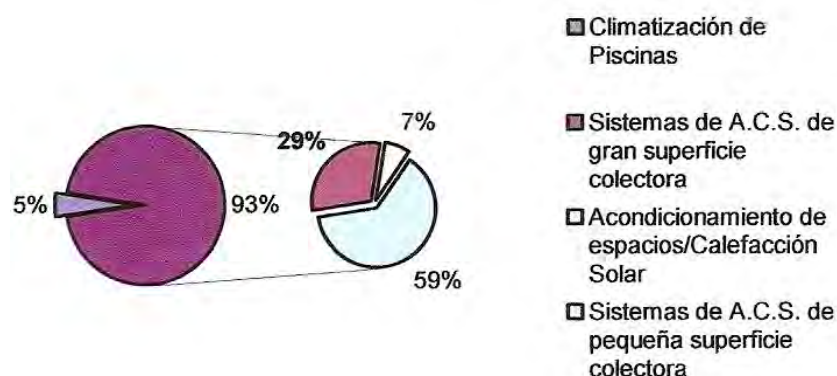


Fig. 15.1.: Distribución por Origen de Fabricación del Captador.

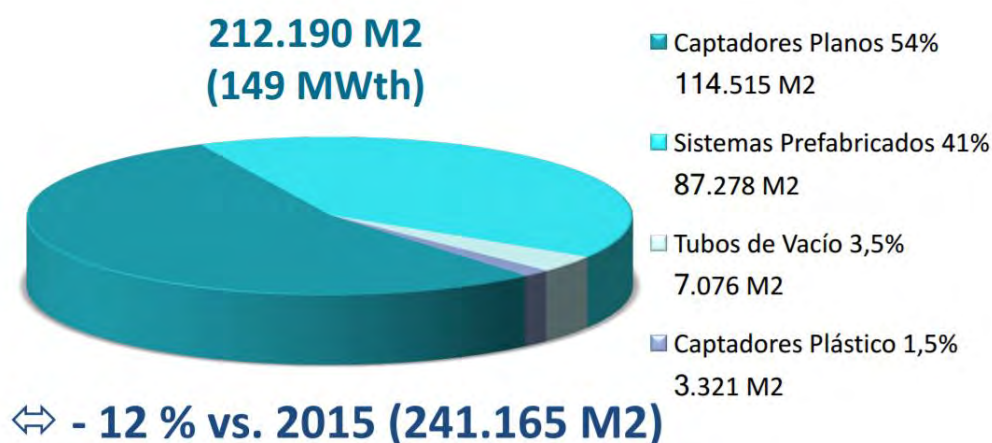
- *Usos principales de la tecnología:* El mercado de aplicaciones de la energía solar térmica a baja temperatura se distribuye según el siguiente gráfico:



*Fig. 16: Distribución de usos de la EST BT en España.*

El 93 % de las aplicaciones de esta tecnología se dedican a la producción de A.C.S., siendo claramente la función más destacada.

- *Tecnologías de captación:* En España, los colectores de placas planas son los más utilizados, dadas las favorables condiciones climáticas. Por otro lado, el uso de los colectores de vacío (sistemas cuyos principios se expondrán en el capítulo de la Memoria Técnica dedicado al equipo de captación solar) no está tan extendido como en otros países con peores niveles de irradiación solar.



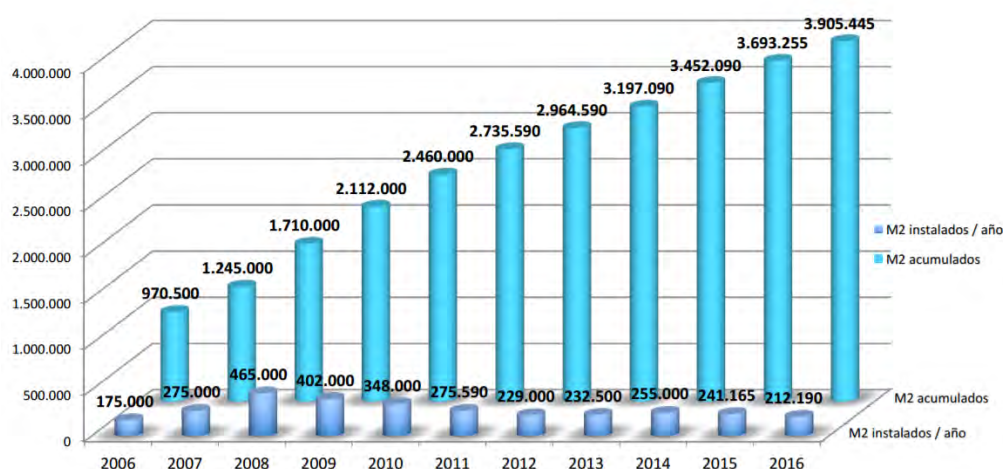
*Fig. 17: Cuota de mercado de las distintas tecnologías de captadores en España en 2016.*

En el año 2016 se instalaron en España 114.515 m<sup>2</sup> de colectores solares de placas planas (también denominados colectores vidriados), frente a 7.076 m<sup>2</sup> de colectores de vacío.

- *Potencia térmica específica:* Según se desprende del estudio llevado a cabo, a lo largo de 2016 se han instalado en España un total de 149 MWth (212.190 m<sup>2</sup>), lo cual implica un retroceso del 12% respecto del resultado obtenido por el mismo estudio en 2015. Unos resultados que nos llevan a superar la cifra de 2,74 GWth en el acumulado de potencia instalada en nuestro país, o lo que es lo mismo, casi 4 Mill de m<sup>2</sup> instalados y en operación en España. El recorrido pendiente es aun largo, por lo que, para conseguirlo, se sigue una política de fomento de la a tres niveles, coordinada por las distintas administraciones (estatales, regionales y locales), que comprende las siguientes medidas:
  - Aprobación del Código Técnico de la Edificación.
  - Apoyar la intensificación de la puesta en práctica de Ordenanzas Solares Municipales, mediante la difusión de las mismas entre los ayuntamientos.
  - Aplicación de fondos públicos a la inversión. Introducción de una desgravación de la energía solar térmica en el IRPF.
  - Formación específica de técnicos municipales para el diseño de los proyectos relacionados con el Código Técnico de la Edificación y Ordenanzas Solares Municipales.

Si tomamos como referencia “oficial” los objetivos contenidos en el PER 2011–2020 (formalmente aprobados junto con las medidas necesarias implementar para poder conseguirlos, medidas que nunca han sido desarrolladas ni tampoco sustituidas por otras), la proyección de los resultados globales alcanzados por el sector, acumulados a cierre 2016, nos llevarían a alcanzar una cifra máxima de 5 Mill. M<sup>2</sup> instalados y en operación a finales de 2020. Es decir, la

mitad del objetivo de los 10 Mill. m<sup>2</sup> que se establece y compromete como país en dicho plan.



*Fig. 18: Evolución prevista de superficie instalada 2006-2016.*

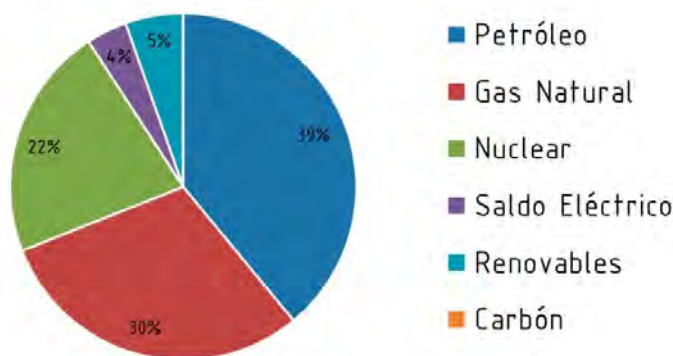
### Situación en Alicante

Instalaciones como la descrita en este proyecto para el aprovechamiento óptimo de la Energía Solar son de especial interés en zonas como Alicante ya que goza de unas condiciones idóneas para el aprovechamiento de la energía solar, con unos valores de intensidad de irradiación solar media y de temperaturas muy favorables.

Incluso con estas condiciones, para alcanzar el objetivo propuesto por la Comisión Europea para combatir el cambio climático en el horizonte del año 2020 la provincia de Alicante tendrá que multiplicar varias veces su generación de energía con fuentes renovables.

El consumo energético limpio se situaba en el 2006 en el 2,6% del global de la provincia, según datos de la Agencia Valenciana de la Energía (Aven). El porcentaje de suministro limpio producido en la provincia se encuentra por encima de la Comunidad Valenciana, a la misma altura que Valencia, mientras que Castellón sólo produce un 1%, según muestran las mismas estadísticas.

La provincia depende mucho de las importaciones de petróleo y carbón. El 39% del consumo de energía en Alicante se deriva del petróleo, el gas natural el 30% y el seguido de la electricidad (22%). Por sectores, el transporte consume casi la mitad de la energía que precisa la provincia. La industria se lleva un 31% del consumo energético de Alicante, el transporte el 41%, mientras que los hogares apenas llegan al 28% del consumo final.



*Fig. 19: Distribución del consumo energético en Alicante.*

#### **1.1.10. Normativa y legislación**

El presente proyecto se ha desarrollado considerando las especificaciones indicadas en la normativa que se comenta a continuación:

##### **1.1.10.1. Código Técnico de la edificación (CTE)**

Aprobado por el Real Decreto 314/2006 (BOE 28/03/06), es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones. El CTE establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), establece dichas exigencias básicas para cada uno de los requisitos básicos de “seguridad estructural”, “seguridad en caso de incendio”, “seguridad de utilización”, “higiene, salud y protección del medio ambiente”, “protección contra el ruido” y

“ahorro de energía y aislamiento térmico”. Éstas deben cumplirse tanto en el proyecto, como en la construcción, el mantenimiento y la conservación de los edificios y sus instalaciones. Este documento agrupa toda la normativa existente sobre edificación e incorpora algunas exigencias nuevas, como son todas las relacionadas con la regulación de instalaciones como la de este proyecto.

En la sección HE 1 de este documento, se hace referencia a la limitación de demanda energética, agrupando las características con las que limitar adecuadamente la demanda de energía en el edificio para alcanzar el “bienestar térmico”, en función del clima de la localidad, del uso del edificio, de la estación...

Los Documentos de Aplicación (DAC), son el apoyo del CTE donde se han establecido los objetivos de la ley y sus requisitos básicos. Estos documentos contienen métodos de verificación o en su lugar posibles soluciones aceptables redactadas en forma de reglas técnicas. Están reconocidos como medios que permiten la satisfacción de las exigencias en los proyectos y en las obras. También permite la posibilidad de proponer una alternativa a los medios establecidos para su cumplimiento.

Es de especial importancia para este proyecto la sección HE-4 “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria y climatización de piscina” dentro del DAC de Ahorro de Energía. En esta sección se establece la exigencia de instalar energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria de aquellos edificios nuevos o a rehabilitar. Dependiendo de la zona geográfica española que nos encontremos esta exigencia supone una variación del porcentaje mínimo de la demanda de agua caliente sanitaria aportado mediante energía solar.

Estos mínimos, sumado a otro tipo de consideraciones, puede ser modificada (solo aumentada) mediante ordenanzas municipales de fomento activo o pasivo por los ayuntamientos de cada zona (diseño de las calles, orientación de los edificios, etc.) y de incentivos en sus Planes Generales de Ordenación Urbana, para incrementar el suelo edificable de



aquellos edificios en los que se instalará energía solar térmica de baja temperatura. Además, son los ayuntamientos los que verifican y establecen la exigencia en el cumplimiento del CTE y de sus propias Ordenanzas Solares a través de la inspección de los técnicos municipales.

#### **1.1.10.2. Ordenanza vigente en Alicante**

Para este proyecto siguiendo lo comentado anteriormente se tendrá en cuenta la “Ordenanza Municipal de Captación Solar para Usos Térmicos” vigente en la Comunidad Valenciana vigente desde el 11/04/2006 y su correspondiente modificación el con fecha del 29/05/2009. Dicha ordenanza establece que la aportación energética de la instalación solar será como mínimo el 60% de la demanda anual de energía derivada del calentamiento de agua del vaso o vasos, ya que se encuentra en una zona climática IV. Para el calentamiento del agua de piscinas al aire libre sólo podrán utilizarse fuentes de energía renovables.

La contribución solar mínima determinada en aplicación de esta Ordenanza, podrá disminuirse justificadamente en los siguientes casos:

a) Cuando se cubra ese aporte energético de agua caliente sanitaria mediante el aprovechamiento de energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia generación de calor del edificio.

b) Cuando el cumplimiento de este nivel de producción suponga sobrepasar los criterios de cálculo que marca la legislación de carácter básico aplicable.

c) Cuando el emplazamiento del edificio no cuente con suficiente acceso al sol por barreras externas al mismo.

d) En rehabilitación de edificios, cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la configuración previa del edificio existente o de la normativa urbanística aplicable.

**e)** En edificios de nueva planta, cuando existan limitaciones no subsanables, derivadas de la Normativa Urbanística aplicable, que imposibiliten de forma evidente la disposición de la superficie de captación necesaria.

**f)** Cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística.

La ordenanza establece además que para la instalación de los paneles en las edificaciones, deberá ajustarse a las siguientes condiciones:

**a)** Cubiertas inclinadas. Podrán situarse paneles de captación de energía solar en los faldones de cubierta, preferentemente en el faldón trasero o protegido de las vistas, con la misma inclinación de estos y sin salirse de su plano, armonizando con la composición de la fachada y del resto del edificio.

**b)** Cubiertas planas. En este caso los paneles solares deberán situarse dentro de la envolvente formada por planos trazados a 45° desde los bordes del último forjado y un plano horizontal situado a 2 metros de altura, medido desde la cara superior del último forjado. Se prohíbe la instalación de paneles sobre casetones de escaleras, ascensores, y otros cuartos de instalaciones, ni aún disponiéndolos en plano horizontal sobre su techo. A fin de impedir el impacto visual de los paneles, los petos de cubierta, así como la separación de los paneles respecto de fachada, deberán ser diseñados para evitarlo; salvo que puedan acogerse a lo previsto en el apartado c) siguiente.

**c)** Fachadas. Podrán situarse paneles de captación de energía solar en las fachadas, con la misma inclinación de éstas y sin salirse de su plano, adecuados en su diseño para armonizar con la composición de la fachada y del resto del edificio; en este caso, deberán adoptarse las medidas necesarias para prevenir posibles fugas que tengan un efecto negativo en el edificio.

**d)** Cualquier otra solución para la implantación de paneles solares, distinta de las anteriormente señaladas, no podrá resultar antiestética, inconveniente o lesiva para la imagen de la ciudad, por lo que el Ayuntamiento denegará, o en su caso, condicionará cualquier actuación en el marco de aplicación de lo dispuesto en los artículos 5.51 y siguientes de las normas urbanísticas del PGOU.

Queda prohibido de forma expresa, el trazado visible por fachadas de cualquier tubería y otras canalizaciones, salvo que se acompañe en el proyecto, de forma detallada, solución constructiva que garantice su adecuada integración en la estética del edificio.

#### **1.1.10.3. Reglamento de las Instalaciones Térmicas de los edificios (RITE)**

Establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, para conseguir un uso racional de la energía.

Las mayores exigencias en eficiencia energética que establece el Real Decreto se plasman en:

- Mayor Rendimiento Energético en los equipos de generación de calor y frío, así como los destinados al movimiento y transporte de fluidos.
- Mejor aislamiento en los equipos y conducciones de los fluidos térmicos.
- Mejor regulación y control para mantener las condiciones de diseño previstas en los locales climatizados.
- Utilización de energías renovables disponibles, en especial la energía solar y la biomasa.

- Incorporación de subsistemas de recuperación de energía y el aprovechamiento de energías residuales.
- Sistemas obligatorios de contabilización de consumos en el caso de instalaciones colectivas. Desaparición gradual de combustibles sólidos más contaminantes.
- Desaparición gradual de equipos generadores menos eficientes.

#### 1.1.11. Principios de Diseño

En este apartado lo que se pretende es establecer una serie de pautas o “criterios de buenas prácticas” para cumplir con las especificaciones de las normativas citadas en los apartados anteriores. Intentando además alcanzar el nivel de compromiso entre los distintos factores citados en el objeto del proyecto. Esta serie de principios se concentran principalmente en una serie de conceptos de diseño que afectan al sistema de regulación y control de la instalación y al conexionado hidráulico del sistema de aporte de energía auxiliar.

Para un aprovechamiento óptimo de la energía solar térmica se consideran cuatro principios básicos de diseño:

##### I. **Captar el máximo posible de energía solar**

Es obvio que el principio más destacado es el de poder captar la mayor cantidad de energía solar posible. Para ello es necesario que la inclinación y orientación de los colectores solares sea la adecuada para asegurar que la irradiación solar incidente sea óptima para el emplazamiento de nuestro sistema, sumado a un buen dimensionado de la superficie captadora. Es necesario regular el transporte de energía para maximizar la potencia útil que pasa al circuito hidráulico, esto se hace mediante una regulación diferencial programada en función de los niveles de temperatura entre los colectores y el almacenamiento. Para que la diferencia de

temperaturas entre los colectores por los que circula el fluido calo portador sea tal que se consiga un incremento neto de la energía útil acumulada, el actuador (electrocirculador) según la programación del regulador, hará circular dicho fluido.

II. **Consumir prioritariamente la energía solar**

Es necesario imponer un compromiso entre el uso de la energía solar y la energía auxiliar para cumplir esta exigencia. Para no diseñar un sistema en el que los periodos de consumo estén supeditados a la captación solar, es necesario otra vez el programar una regulación para la optimización de el uso de la Energía Solar. Esta regulación se facilita incluyendo un acumulador auxiliar, donde se recibiría el aporte de energía auxiliar sólo cuando el nivel térmico de la energía solar acumulada fuera insuficiente para cubrir la demanda del sistema.

III. **Asegurar la correcta complementariedad entre energía solar y convencional**

Este principio sirve para definir que para conseguir la temperatura mínima de uso el aporte de energía auxiliar ha de ser estrictamente preciso. El sistema auxiliar de energía es un sistema de apoyo fundamental en una instalación como la que se diseña en este proyecto.

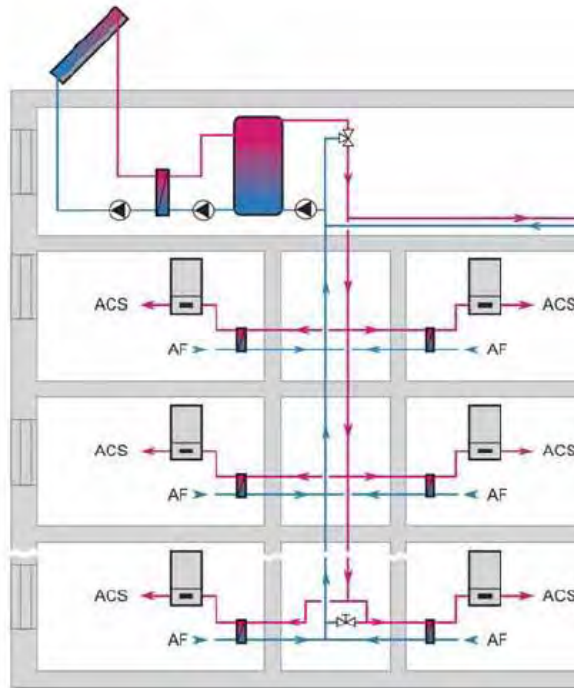
La función del sistema auxiliar de energía es garantizar que la instalación térmica sea capaz de cubrir la demanda de energía térmica cuando la radiación no sea suficiente, cuando las condiciones climatológicas sean adversas o ante posibles averías de los sistemas. El elemento principal de este sistema es una caldera cuya función es elevar la temperatura del agua de consumo hasta los 60°C que establece el CTE.

Hay dos filosofías de instalación en cuanto a la realización práctica de este principio:

– *Aportación instantánea de energía de apoyo:* Consiste en colocar el sistema auxiliar en serie con el resto de la instalación solar. Gracias a esta configuración se aprovecha la energía contenida en los acumuladores ya que la caldera eleva la temperatura del agua a la salida del tanque de almacenamiento hasta la temperatura de servicio. Cuando se abre un punto de consumo, las bombas succionan agua desde el tanque de almacenamiento (tanque A.C.S). Dependiendo de la temperatura del agua a la salida del tanque se envía a diferentes puntos:

Caso	Operación
$T_{st} > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	El agua se envía al punto de consumo y allí se mezcla con agua de red.
$T_{st} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	El agua se envía al punto de consumo.
$T_{st} < 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	El agua se hace pasar por la caldera hasta conseguir $T_{st} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

– *Configuración en paralelo:* Gracias a esta configuración se cubren todas las necesidades de energía térmica mediante la caldera cuando no se alcanza el nivel de temperatura necesario en el interior del tanque para las distintas aplicaciones. Dado que el circuito de calefacción es cerrado, si la temperatura del agua a la salida del tanque solar no es la que se requiere se procederá a cerrar el circuito entre la caldera y el sistema de calefacción mediante una válvula de tres vías. De este modo toda la energía térmica necesaria la proporciona la caldera (configuración todo o nada)



*Fig. 20: Esquema de aporte de energía auxiliar mediante calderas murales de gas.*

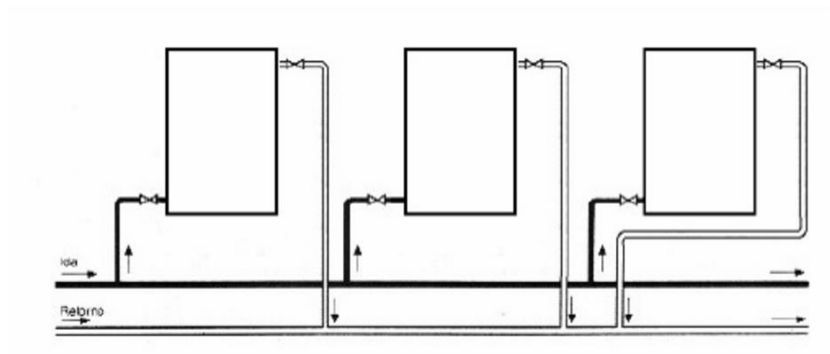
#### IV. Asegurar el retorno invertido

Para mantener el equilibrio hidráulico en las conexiones es necesario guardar el principio de retorno invertido. La longitud de las conducciones será lo más reducida posible para minimizar las pérdidas hidráulicas y térmicas. Si no se consiguiese habría que poner válvulas para compensar presiones. Existen tres formas de conexión:

- Monotubo: El circuito parte del tanque hasta el primer colector, el más cercano al tanque y a partir de éste primer colector se produce la conexión hidráulica de la ida y el retorno al resto de colectores del circuito.
- Retorno bitubo directo - El último panel está más alejado que el primero. La bomba se diseña para el más desfavorable, lo que provoca que hay más caudal en los primeros. La consecuencia de esto es que no da

el calor necesario y habría que regular el caudal con detentores.

- Retorno bitubo invertido – Los paneles tendrían el mismo recorrido. Se hace este tipo de disposición para no tener que regular el caudal. Si no se hiciese así habría que utilizar válvulas de equilibrado.



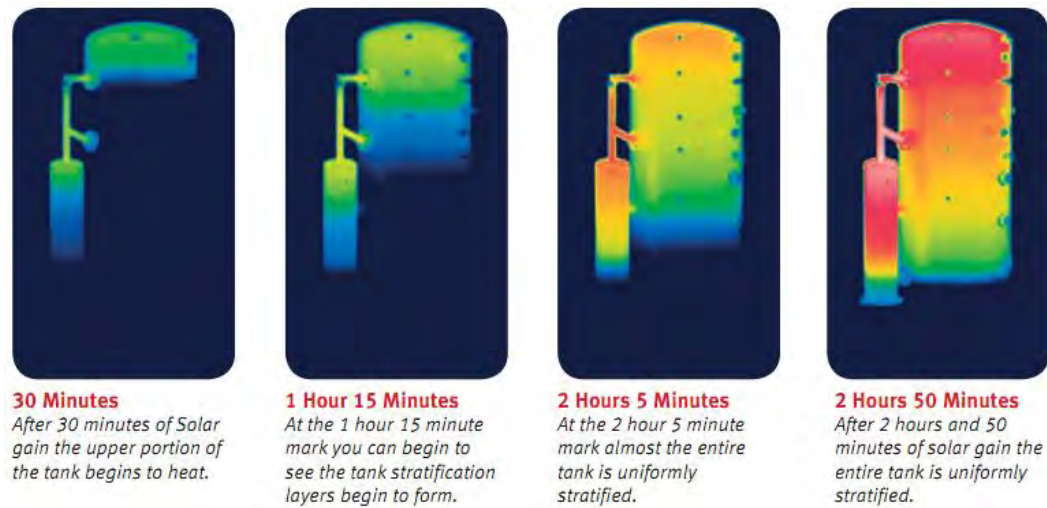
*Fig. 21: Esquema de colectores con retorno invertido.*

#### V. **Minimizar la longitud de las tuberías**

Con el objetivo de minimizar las pérdidas es necesario intentar reducir lo más posible la longitud de las tuberías y los elementos de control tanto para el circuito primario (colectores y acumuladores) y el secundario (distribución a las viviendas)

El circuito de retorno es el circuito por el que se hace circular constantemente el A.C.S. desde el punto más alejado hasta los acumuladores. Para el diseño esquema hidráulico, se ha considerado cuidadosamente la disposición del circuito de retorno para mantener la estratificación entre depósitos. Con el objeto de mantener la temperatura de consigna y conseguir así que haya agua caliente instantáneamente en los puntos de distribución cuando el usuario la demande.





*Fig. 22: Análisis termo gráfico de la estratificación del agua en un acumulador solar.*

Pretendiendo agilizar la búsqueda de información y fase de documentación para la realización de este proyecto, además de las variables ya citadas de eficiencia y rentabilidad económica, como criterio de selección de equipos, se ha considerado la cantidad de información disponible de los fabricantes de los distintos sistemas que forman parte de la instalación. De este modo se puede hacer una descripción y parametrización de todos los sistemas de la instalación, con el mayor nivel de detalle posible.

Con la previsión de evitar que el mantenimiento plantee problemas debido a las condiciones de garantías de los sistemas. Se ha intentado diseñar toda la instalación solar en base a equipos de una misma casa comercial, la casa elegida es Wagner & Co. El motivo de intentar que todos los equipos pertenezcan a una misma casa es que aluden que sus condiciones de garantía son válidas únicamente cuando sus máquinas se usan con otros equipos del mismo fabricante para evitar responsabilidades en caso de malfuncionamiento de sus equipos

Dado que en España está poco desarrollado el mercado de sistemas de energía solar a baja temperatura es imposible conseguir una homogeneidad total de equipos. Dentro de la comercialización y fabricación de colectores solares, las casas comerciales especializadas

suelen ofrecer equipos enfocados a pequeñas viviendas unifamiliares. Para las necesidades de la instalación de este proyecto no ofrecen sistemas de acumulación del volumen necesario. De hecho, hay pocas empresas (Fagor, Lapesa) especializadas en la fabricación de acumuladores solares de gran volumen (más de mil litros). Se darán más situaciones de mezcla de equipos de distintos fabricantes, que se expondrán en detalle en el capítulo de descripción de la instalación solar.

#### **1.1.12. Impacto medioambiental**

En este apartado se va a hacer un pequeño estudio del impacto medioambiental derivado del uso de la energía solar en lugar de combustibles fósiles.

Las ventajas de la energía solar son numerosas respecto a las energías convencionales. En primer lugar es la fórmula energética más respetuosa con el medio ambiente y sus recursos son inagotables, por lo que reduce la dependencia energética de energías fósiles y contaminantes como el petróleo, no es únicamente una fuente de ahorro económico sino principalmente una fuente de ahorro en emisiones y contaminación.

Pero es la reducción de CO<sub>2</sub> lo que realmente sustenta este tipo de tecnologías y lo que las hace realmente rentables desde un punto de vista medioambiental. Consiguiendo un consumo de las energías tradicionales más tolerante con la atmósfera y el entorno en general, desde un punto de vista individual, puerta por puerta en cada edificio, se contribuiría a apoyar todas las medidas que las administraciones toman actualmente. La principal consecuencia de la implantación de energías renovables es la reducción de los efectos que supone sobre la atmósfera, como el ya famoso efecto invernadero.

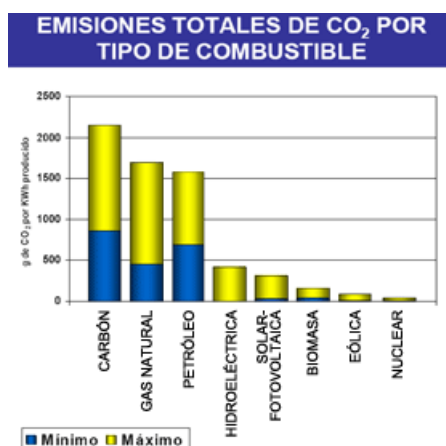


Fig. 23: Gráfica de emisión de CO<sub>2</sub> de distintos combustibles.

Desde el IDAE señalan su alta eficiencia como otro importante beneficio, además de que su implantación no afecta a la calidad del aire ni de los suelos. Asimismo, se garantiza que las instalaciones solares son silenciosas, limpias y con una larga vida útil (entre 20 y 30 años dependiendo del tipo). Por último, facilita el autoabastecimiento y permite generar energía cerca de donde se necesita sin necesidad de costosas infraestructuras para su transporte.

Los efectos de la energía solar sobre los principales factores ambientales son los siguientes:

- **Aguas superficiales y subterráneas:** No se produce alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos.
- **Ruidos:** el sistema fototérmico es absolutamente silencioso, lo que representa una clara ventaja frente a los generadores de motor en viviendas aisladas.
- **Suelo:** al no producirse ni contaminantes, ni vertidos, ni movimientos de tierra, la incidencia sobre las características físico-químicas del suelo o su erosionabilidad es nula.
- **Medio social:** El suelo necesario para instalar un sistema fototérmico de dimensión media, no representa una cantidad significativa como para producir un grave impacto. Además,

en gran parte de los casos, se pueden integrar en los tejados de las viviendas.

- **Clima:** la generación de energía eléctrica directamente a partir de la luz solar no requiere ningún tipo de combustión, por lo que no se produce polución térmica ni emisiones de CO<sub>2</sub> que favorezcan el efecto invernadero.
- **Flora y fauna:** la repercusión sobre la vegetación es nula, y, al eliminarse los tendidos eléctricos, se evitan los posibles efectos perjudiciales para las aves. Paisaje: los paneles solares tienen distintas posibilidades de integración, lo que hace que sean un elemento fácil de integrar y armonizar en diferentes tipos de estructuras, minimizando su impacto visual. Además, al tratarse de sistemas autónomos, no se altera el paisaje con postes y líneas eléctricas.

## 1.2. Memoria técnica

En este documento se exponen las soluciones de diseño adoptadas en el proyecto de instalación propuesto.

Siguiendo la motivación del proyecto, en esta parte lo que se quiere es ofrecer una buena solución de ingeniería considerando las particularidades de la instalación (ubicación y condiciones climáticas, integración arquitectónica con el edificio destinatario) las necesidades que dicha instalación ha de cubrir.

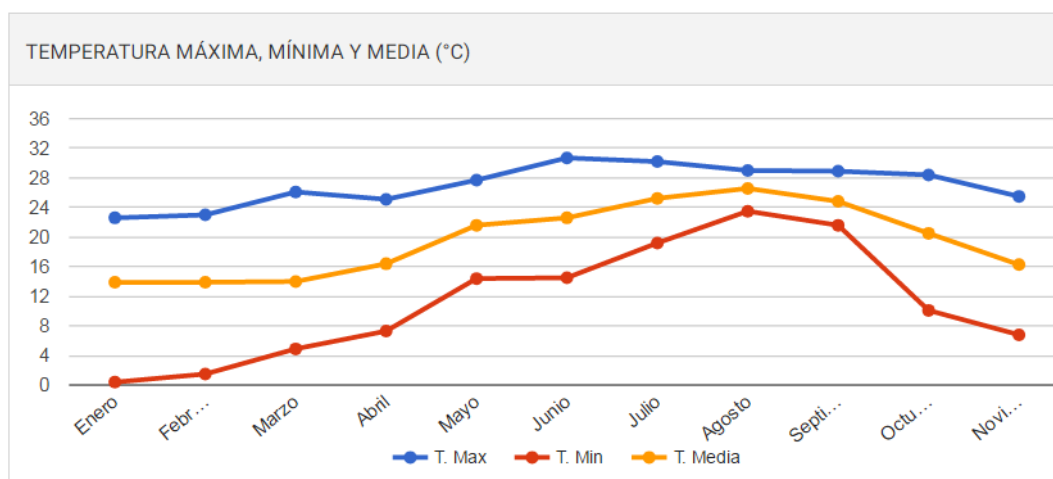
### 1.2.1. Datos de Partida

Datos geográficos de Denia:

- Altitud (m): 12
- Latitud (°): 38.83 N
- Longitud (°): 0.105 E

Temperatura media anual: alrededor de 18°C.

Temperatura mínima histórica. -5°C.



*Fig. 24: Evolución de las temperaturas mínima, media y máximas a lo largo del año.*

### 1.2.2. Características constructivas del bloque de viviendas

El conjunto o bloque de viviendas donde se quiere realizar la instalación solar se compone de cuatro edificios, dispuestos frente a frente dos a dos con la piscina comunitaria situada en el espacio entre los cuatro edificios. Hay que destacar que la configuración de las cubiertas de cada bloque no son exactamente iguales, puesto que como es edificación nueva se ha adaptado cada bloque a las necesidades de la instalación solar. Cada edificio de viviendas (identificados como edificios norte, sur, este y oeste, puesto que el edificio tiene una orientación sur pura) consta de 14 apartamentos y 2 dúplex en las esquinas, distribuidos de la siguiente forma.

Tipo	Nº viviendas	Dormitorios	Baño
Apartamento	14	2	1
Dúplex	2	3	2

*Fig. 25: Tipología de viviendas del edificio.*

Según las consideraciones de cálculo de número de personas por vivienda que propone en la sección HE 4 del CTE (ver tabla siguiente), se consideraría un dimensionado de instalación suficiente para satisfacer la

demanda de ACS y calefacción de 200 vecinos, 14 viviendas de 2 piezas ( $14 \times 3 \text{ personas} = 42 \text{ personas}$ ) y 2 viviendas de 3 piezas ( $2 \times 4 \text{ personas} = 8 \text{ personas}$ ), hacen un total de 50 personas por edificio, como son cuatro edificios hacen un total de 200 vecinos. Al ser una más típica de uso vacacional, se considerará que en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, la ocupación será del 35%, siendo el resto de meses del 100%.

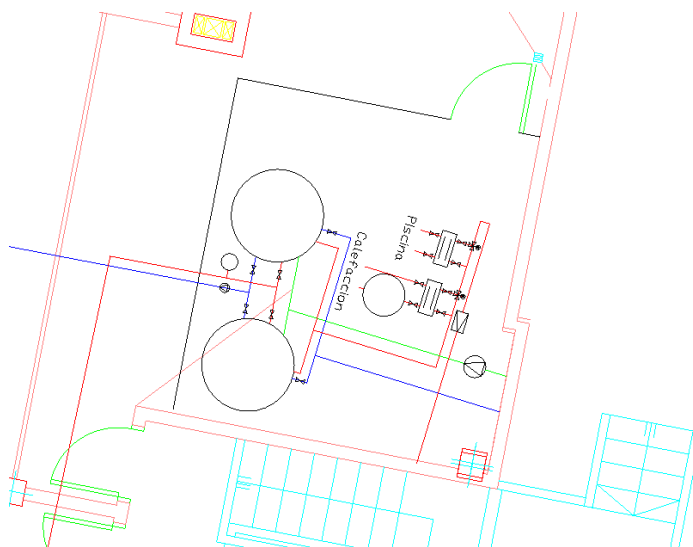
Tipo de vivienda	Número de personas
De un único espacio o 1 pieza de la vivienda	1.5 personas
Viviendas de 2 piezas	3 personas
Viviendas de 3 piezas	4 personas
Viviendas de 4 piezas	6 personas
Viviendas de 5 piezas	7 personas
Viviendas de 6 piezas	8 personas
Viviendas de 7 piezas	9 personas
Viviendas de 8 o más piezas	Asumir como hostel

*Fig. 26. Cálculo del número de personas por vivienda según el CTE.*

Sin embargo, este criterio de cálculo es demasiado conservador, por lo que en relación con la demanda real con este criterio da un resultado de una instalación dimensionada. Motivado por ello y siguiendo las recomendaciones de la norma UNE 94002 para este proyecto se considerará un coeficiente de simultaneidad (denominado en la norma Factor de Centralización) por vivienda y otro por edificio que calcularemos más tarde, para edificios de viviendas con instalaciones solares térmicas centralizadas (como es el caso de este proyecto).

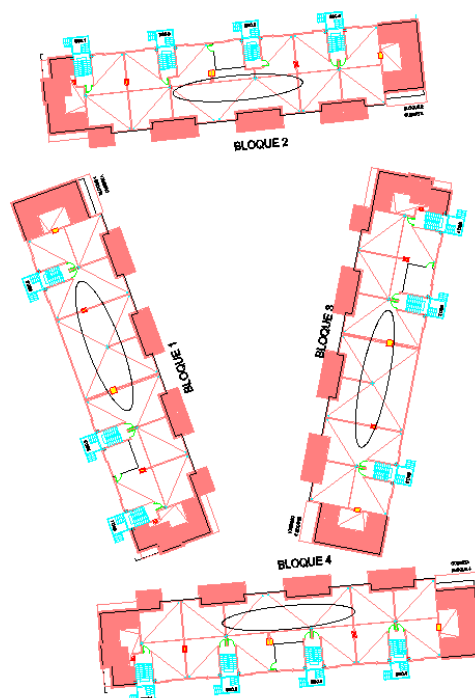
Como se verá detalladamente más adelante, el subconjunto de captación (colectores solares) y el subconjunto de acumulación estarán colocados sobre la cubierta plana del edificio. A su vez el subconjunto de acumulación irá situado en una sala de máquinas convenientemente

dispuesta en la misma cubierta, como se puede apreciar en la siguiente figura:



*Fig. 27: Sección de la cubierta, donde se puede apreciar la disposición de la sala de máquinas.*

El campo de colectores se va a situar en cada edificio sobre la cubierta horizontal de cada uno, se colocaran en la zona central aproximadamente para que se encuentren lo más cerca posible de la sala de máquinas.



*Fig. 28: Sección de la cubierta, donde se ve la ubicación del campo de colectores en cada edificio (montaje gráfico disposición de los edificios no real).*

### 1.2.3. Datos climáticos

Como ya se ha expuesto anteriormente la ciudad de Denia se encuentra a  $38.83^{\circ}$  de latitud norte y  $0.105^{\circ}$  de latitud este, con una altitud de media de 12 metros sobre el nivel del mar, cuya temperatura mínima histórica es de  $-5^{\circ}\text{C}$ . El resto de los principales datos climatológicos empleados (temperatura ambiente mensual, temperatura de la red de distribución del agua, valores medios de irradiación mensual, etc.) en el proceso de dimensionado de la instalación se expondrán más adelante y se mostrarán las tablas al final de este documento.

La zona climática en la que se encuentra el edificio es un factor a considerar en la realización de un proyecto de estas características pues influye en parámetros como la temperatura de suministro o la fracción de aporte solar (factor f).

En la sección HE 4 del Código Técnico de la Edificación se incluye el siguiente mapa de la península Ibérica dividida en distintas regiones según las condiciones climáticas. El CTE define una serie de zonas climáticas homogéneas como se puede apreciar en la figura 25 considerando la Radiación Solar Global media diaria anual sobre superficie horizontal H. La ciudad de Denia se encuentra en la Zona Climática IV, considerada en un intervalo de H entre 4,6 y 5  $\text{kWh}/\text{m}^2$ , dependiendo de la época del año.

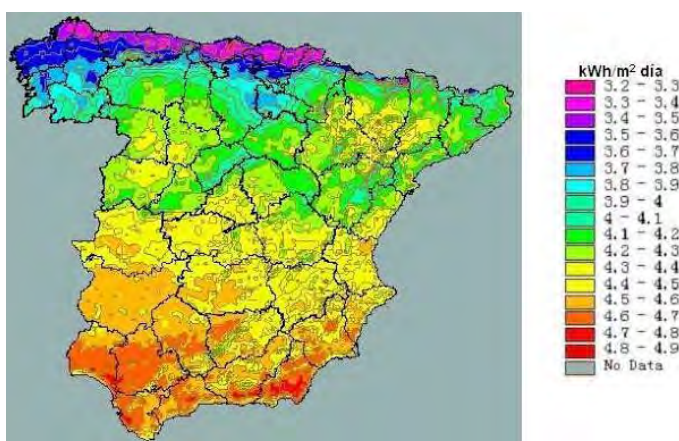
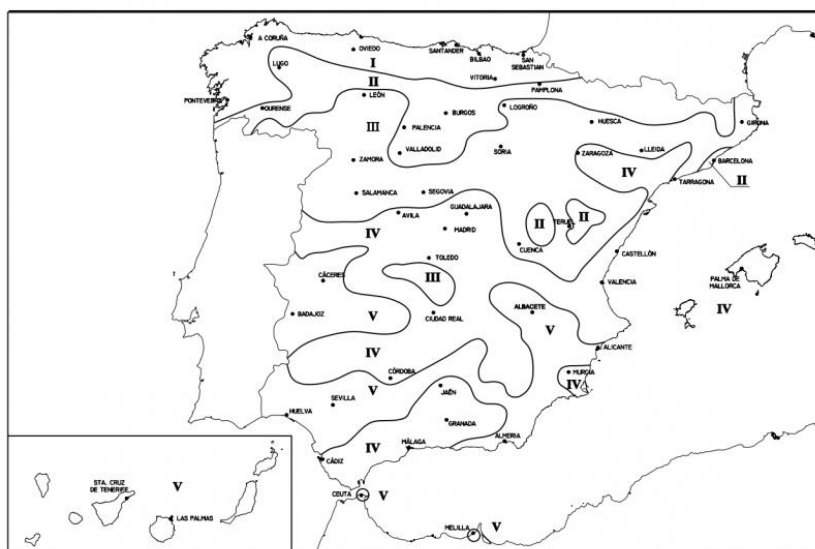


Fig. 29: Datos de irradiación solar derivados de imágenes de satélite para España.





*Fig. 30: Clasificación en zonas climáticas propuesta por el CTE a partir de niveles de radiación solar.*

#### 1.2.4. Caracterización del consumo de ACS

La demanda diaria de ACS se calculará según el CTE considerando la siguiente tabla:

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

*Fig. 31: Demandas de referencia según aplicaciones a una temperatura de referencia de 60°C.*

Atendiendo a dicha tabla para este proyecto se tendrá en cuenta una demanda de 22 litros de A.C.S. al día por persona, por lo que para la

comunidad de 200 vecinos se consumirá unos 4400 litros al día totales, cuando la ocupación sea del 100%.

Dado que el perfil de consumo diario es bastante irregular en este tipo de consumos, y para conseguir un reparto óptimo del ahorro de energía auxiliar entre todos los usuarios de la instalación, se optará por un diseño con caldera auxiliar centralizada de A.C.S. Así, cada vecino pagará los gastos de combustible auxiliar asociados a la preparación de A.C.S. en proporción a su consumo individual. En las instalaciones en las que los sistemas térmicos de apoyo se encuentran distribuidos por cada vivienda, el ahorro económico derivado de un sistema de A.C.S. solar no se repartiría equitativamente entre todos los usuarios, premiando a aquellos que sigan unas pautas de consumo de A.C.S. en fase con el aporte solar máximo. Los vecinos que consuman A.C.S. a primera hora de la mañana o por la noche, se verían penalizados económicamente al tener que gastar más combustible auxiliar.

Los sistemas centralizados de caldera auxiliar presentan además una mayor eficiencia energética, con unas tarifas de combustible más baratas que los sistemas individuales. Esta configuración de caldera centralizada de calefacción y de preparación de ACS está exenta de la normativa que impone un uso limitado de los sistemas de calefacción centralizados, lo que redunda en un mayor confort del usuario final.

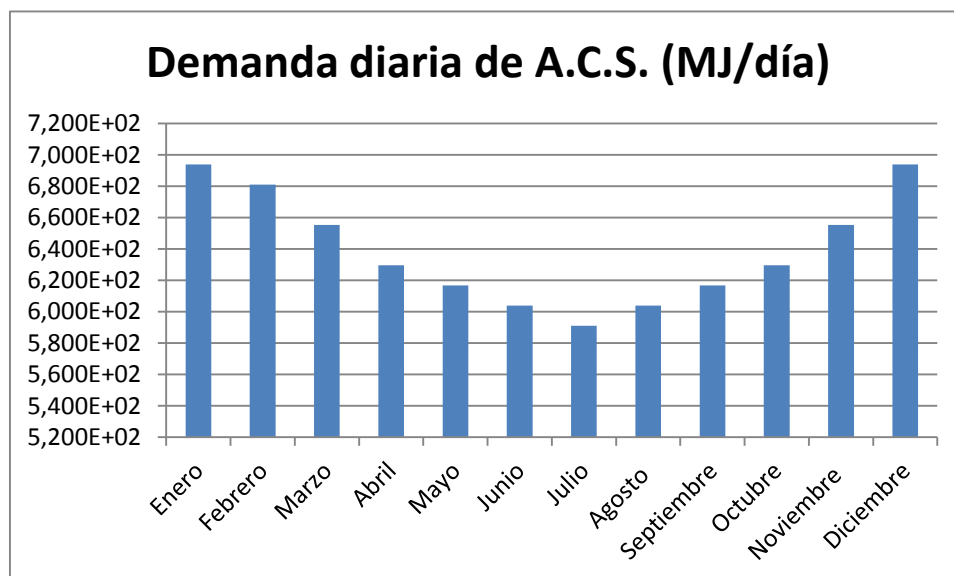


Fig. 32: Perfil de demanda de A.C.S. el día medio de cada mes.

Se puede apreciar la variación debido al consumo de A.C.S., más bajo en los meses de verano, que en los de invierno, debido a las más altas temperaturas ambientales.

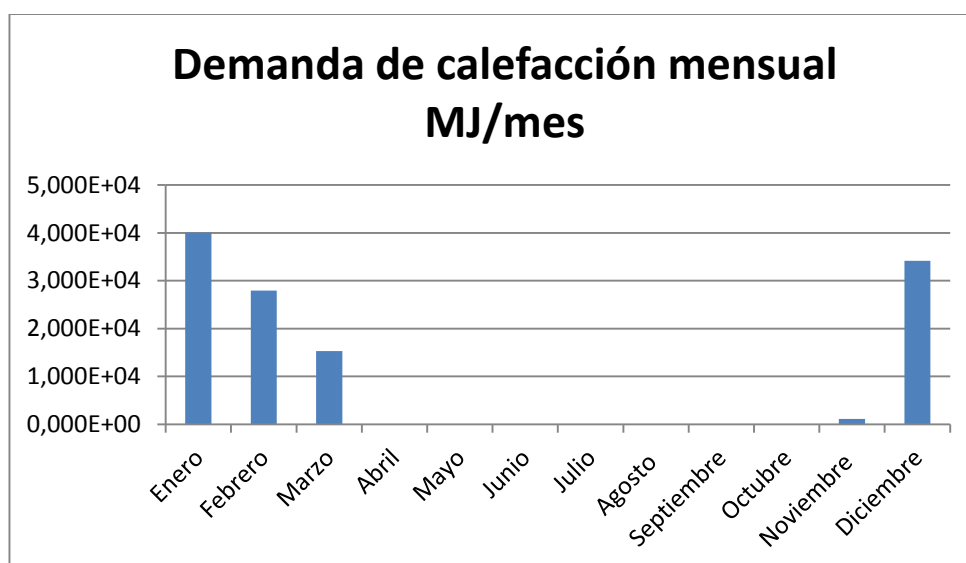


Fig. 33: Perfil de demanda de calefacción por mes.

Al estar este proyecto emplazado en Alicante, donde generalmente las temperaturas son altas durante todo el año, el uso de la calefacción se ve reducido a 5 meses al año.

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual, obtenidos a partir de los valores mensuales. En el caso general en el que la fuente energética de apoyo sea gasóleo, propano, gas natural u otras, la contribución solar mínima anual para cada zona climática se indica en la siguiente tabla extraída del CTE.

Demanda total de ACS del edificio ( litros/día )	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

*Fig. 34: Relación de contribución solar mínima.*

En el caso de este proyecto, para la zona climática IV, una demanda de ACS de 4400 litros de A.C.S. al día y a una temperatura de suministro de 60°C, la contribución solar mínima anual es de 60, es decir, que la contribución solar mínima,  $f$ , es un 60%. Que se explicará en el siguiente apartado.

#### **1.2.5. Análisis Energético del subconjunto de captación, Dimensionado y optimización de la Superficie colectora.**

La contribución solar mínima anual, que es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual. Esta contribución se determina, según el CTE, considerando la demanda diaria de A.C.S. y de calefacción y la zona climática (definida el apartado dedicado a los datos climáticos) en la que se ubique la instalación.

Como se expuso en apartados anteriores, Denia se encuentra en la zona climática IV y el consumo medio diario del bloque de viviendas será de en torno a los 4400 litros. A partir de estos parámetros y siguiendo las

exigencias del CTE, y en el caso particular de este proyecto, de la Ordenanza Solar de Valencia se fijará la proporción de contribución solar mínima en un 60%. Esta proporción es igual a la establecida por el CTE visto anteriormente.

A la hora de realizar el estudio energético de la instalación solar, se ha seguido un proceso de cálculo basado en un algoritmo que utiliza coeficientes empíricos, basados en la experiencia en el dimensionado de este tipo de instalaciones, para establecer los balances energéticos en el sistema. Este algoritmo se encuentra expuesto en detalle en la sección de *Cálculos* para dimensionar el sistema de captadores según los requerimientos de la demanda de ACS y calefacción.

Para los datos a introducir en el algoritmo se toma como datos de entrada, los mencionados anteriormente como datos de partida, entre otros, que son: volúmenes de demanda, datos de ubicación y geográficos (temperatura media del agua de la red de abastecimiento, latitud, número de horas de sol útiles), datos meteorológicos (índices de irradiación, temperatura ambiente, factores de corrección por latitud) y características del colector solar empleado (curva de rendimiento, ángulo de inclinación de los colectores y factor de corrección de la irradiación por inclinación de los colectores). Para el caso de la calefacción además se consideran como datos de partida: la transmitancia térmica y la superficie en planta local.

Por otro lado como datos de salida, se establecen dos caminos, ya que el proyecto abarca la doble demanda: uno para obtener la demanda térmica de A.C.S. y por otro lado la demanda necesaria para la calefacción. Ambas demandas se unen finalmente en una cantidad de demanda térmica común.

Como ya se ha venido esbozando, para el cálculo del número de colectores, el método elegido será el llamado método F-Chart. Este método tiene la gran ventaja de que no es necesario hacer iteraciones como con otros procedimientos ya que se devuelve la fracción solar que se utiliza,

por lo que se evita un sobredimensionado en la instalación. No obstante se explica más ampliamente en la sección de *Cálculos*.

El CTE hace un ajuste del volumen de A.C.S. aumentando la demanda precisamente en aquellos meses de verano en los que la temperatura de la red es mayor y el uso de la calefacción es nulo. Lo que se pretende con este abultamiento artificial de la demanda energética es que para el diseño, no parezca que en verano se desperdicia tanta energía solar, aunque en realidad sea así. Ese es uno de los motivos por los que en este proyecto se ha optado por desviar los excedentes generados por la energía solar a una piscina. Es por lo tanto conveniente dimensionar la superficie captadora muy ajustada a las demandas energéticas de los meses de más calor

El tipo de colector solar que se va a instalar en el subconjunto de captación de la instalación que atañe a este proyecto es el modelo RAND RAL 4S de la compañía Winter S.A. comentado anteriormente, y a partir de su curva de rendimiento (expuesta en el apartado de descripción del subconjunto de captación) se ha aplicado el método de cálculo F-Chart. Mediante este método se ha calculado que el número de colectores total es de 16 (4 por edificio).

Para evitar daños en la instalación por evaporización, el CTE expone, durante los meses de verano, una serie de restricciones para evitar el sobrecalentamiento del fluido de trabajo. En el caso de que en cualquiera de estos meses la contribución solar real sobrepase el 110 % de la demanda energética o en más de tres meses seguidos el 100 %, se adoptarán cualquiera de las siguientes medidas:

- a) dotar a la instalación de la posibilidad de disipar dichos excedentes (a través de equipos específicos o mediante la circulación nocturna del circuito primario);
- b) tapado parcial del campo de captadores. En este caso el captador está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a

su vez evacua los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador);

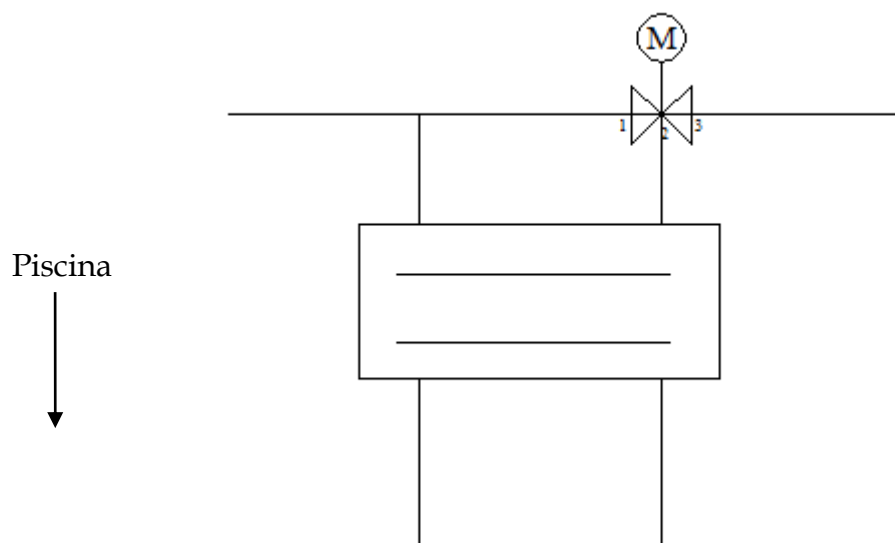
c) vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares debiendo incluirse este trabajo en ese caso entre las labores del contrato de mantenimiento;

d) desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes.

En este proyecto, como ya se ha expuesto repetidas veces, se optará por la solución d. Desde el punto de vista energético, económico y de control de instalación se considera la solución más adecuada.

Esta operación de mantenimiento se realizará durante el proceso sobreproducción, este periodo comprende los meses de abril a octubre, ambos incluidos para el caso de la instalación aquí descrita, como se puede apreciar en la *figura 33*. Es necesario instalar un circuito de regulación para que esta operación se lleve a cabo únicamente en los meses necesarios. Esta regulación se hará mediante una válvula mecanizada en el circuito primario se desviará ese exceso de energía hacia la piscina.

La regulación se instala para que el proceso sea automático, en vez de tener que, aunque sea un periodo claramente establecido, estar manipulando las válvulas. Además esta desviación como ya se ha comentado anteriormente no sólo es para el confort de los usuarios de la piscina, sino para evitar daños en la instalación, de modo que con dicha regulación aunque la piscina no esté en uso si hay necesidad también desvía esa energía para proteger la instalación.



*Fig. 35: Sección del circuito primario donde se aprecia la válvula motorizada de desviación hacia la piscina.*

En la *figura 35* se indica la ubicación de la válvula y las distintas posiciones de esta para ceder calor del agua de los colectores al agua de retorno de la piscina si es necesario, o dejarla continuar hacia las viviendas.

Facilitando el proceso de regulación se establece que se cederá calor a la piscina si la temperatura del fluido supera los 90°C y la caldera está apagada ya que la regulación se debe establecer dependiendo del uso o no de la calefacción.

Posición de la válvula	Acción	Condición
1-3	Bomba de retorno apagada y bomba de la depuradora de la piscina apagada	Si la caldera está encendida o la temperatura en la zona superior de los acumuladores es menor de 70 °C
2-3	Bomba de retorno encendida y bomba de la depuradora de la piscina encendida	Si la caldera está apagada y la temperatura en la zona superior de los acumuladores es mayor de 90°C

*Fig. 36: Opción de la regulación indicando la posición de la válvula.*



Es necesario instalar además de la válvula otro tipo de elementos. Uno de ellos es un intercambiador de calor, como se aprecia en la *figura 35*, que cede calor al fluido de retorno de la piscina en el caso de que sea necesario. La potencia de dicho intercambiador se calculará posteriormente para su dimensionado. Se establecerá un tiempo de 3 horas en el que se desea que se evapore el calor.

Además del intercambiador, ya que el fluido debe volver al circuito una vez que haya pasado el calor a la piscina, es necesario instalar una bomba de retorno, que será instalada en el circuito primario. La bomba es necesaria para superar la diferencia de altura que se establece, puesto que el circuito primario se encuentra en la azotea y la piscina a la altura del suelo, además de ser necesaria por las pérdidas de carga de las tuberías.

#### **1.2.6. Descripción de la Instalación Solar**

En los sucesivos apartados se va a proceder a definir el sistema y los componentes propuestos, analizando las opciones disponibles y justificando las soluciones adoptadas, tomando como punto de partida el análisis energético.

Sirviendo como una primera descripción, el sistema queda dividido en los siguientes subconjuntos: subconjunto de captación, que comprende el campo de colectores; subconjunto de almacenamiento consistente en un grupo de acumuladores y el vaso de expansión; subconjunto de termotransferencia, en el que se incluyen el trazado de conductos, el grupo de presión y los intercambiadores de calefacción y de la piscina, además de otros accesorios; subconjunto de regulación, encargado de controlar las actuaciones de válvulas y bombas del circuito.

Como introducción a este capítulo el CTE realiza la siguiente definición que de este tipo de instalaciones:

*“Una instalación solar térmica está constituida por un conjunto de componentes encargados de realizar las funciones de captar la radiación solar, transformarla*

*directamente en energía térmica cediéndola a un fluido de trabajo y, por último almacenar dicha energía térmica de forma eficiente, bien en el mismo fluido de trabajo de los captadores, o bien transferirla a otro, para poder utilizarla después en los puntos de consumo. Dicho sistema se complementa con una producción de energía térmica por sistema convencional auxiliar que puede o no estar integrada dentro de la misma instalación.”*

### **1.2.7. Subconjunto de captación**

Es el subsistema más importante de la instalación solar, es donde están situados los colectores solares. Puesto que es en ellos donde se produce la energía térmica útil para la generación de A.C.S. y calefacción, convirtiendo la energía electromagnética de la radiación solar. Por lo que se tratará este sistema con mayor grado de detalle que los otros componentes de la instalación solar.

El subconjunto de captación está constituido por el campo de colectores, formado por los colectores solares y el conjunto de conductos que forman su conexión hidráulica con el circuito primario.

### **1.2.8. Campo de colectores**

El colector trata de extraer parte de la energía calorífica producida por el flujo radiante incidente para aprovecharlo como energía útil, el resto es energía que se pierde por radiación, convección y conducción. La energía útil es extraída del colector a través de un fluido llamado fluido caloportador.

Por un lado hay que evitar el sobredimensionado del área de colectores debido al alto coste inicial de las instalaciones solares, y en particular, del colector. Además es preciso disipar los excedentes de calor que pueda haber en ciertas épocas del año.

Por otra parte, si el área de colectores es menor que la adecuada, se consigue un ahorro de energía convencional tan

reducido que la instalación solar no aporta los beneficios que se persiguen. Por todo ello resulta de vital importancia que los cálculos sean precisos, con objeto de que la instalación proyectada se ajuste para atender un determinado porcentaje de la carga térmica, establecido por la normativa aplicable al efecto.

Seguidamente se pasará a describir brevemente las distintas tecnologías de colectores solares existentes en el mercado. A continuación se caracterizará técnicamente el colector solar en concreto que se ha seleccionado para la instalación de este proyecto. Paralelamente se expondrán las características constitutivas generales de un colector solar de placas planas, haciendo especial hincapié en la descripción de aquellas características constructivas propias del colector elegido.

Durante todo el documento, en cada uno de sus apartados de descripción de la instalación solar, se especificarán y justificarán tanto las soluciones de diseño adoptadas como las hipótesis sobre las que estas se basan, así como la normativa y regulación que afecten a los distintos sistemas de la instalación.

A continuación se muestra un colector solar de placas planas mostrando cada una de sus partes y se definen los principales componentes:



*Fig. 37: Colector solar de placas planas.*

**Cubierta:** Elemento situado en la parte superior. Ha de ser de material transparente a la radiación solar incidente y opaco a la radiación de onda larga que emite la placa absorbedora, de modo que se pueda producir el efecto invernadero anteriormente explicado. Al mismo tiempo atenúa las pérdidas de calor del colector:

- Por un lado impide el paso de la radiación que emite el absorbedor, reduciendo las pérdidas del colector al ambiente por el mecanismo de radiación.
- Por otro lado asegura el cierre estanco del colector, evitando que el aire exterior entre en contacto con el absorbedor y las consiguientes pérdidas por convección.

Las principales características de la cubierta de los colectores planos deben ser, por lo tanto, las siguientes:

- Durabilidad, que propicie una larga vida del producto y resista los agentes atmosféricos y las variaciones de temperatura en el colector.
- Buena capacidad de aislamiento, de modo que se minimicen las pérdidas de energía desde el colector hacia el ambiente.
- Protección de los elementos que se encuentran en el interior del colector.
- Alta absorptividad y baja reflectividad, de modo que la mayor parte de la radiación incidente pueda ser transferida en forma de calor al fluido de trabajo.

**Absorbedor:** Es el elemento donde se produce la transformación de la energía que llega por radiación en energía térmica que absorbe el fluido caloportador. Generalmente está constituido por unos tubos o dos placas conformadas de metal o un material plástico que se encuentran expuestos a la radiación solar y por cuyo interior pasa el fluido de trabajo. Atendiendo al tipo de tratamiento, los absorbedores pueden ser presentados con pinturas negras especiales o con tratamiento selectivo

absorbente (alta absorción en longitudes de onda corta y baja emisividad en longitudes de onda larga).

**Circuito de fluido térmico:** Conjunto de tuberías por el que circula el fluido térmico. Dicho fluido ha de estar en contacto directo con el absorbedor para que la transferencia de calor desde la placa absorbente al fluido se realice en las mejores condiciones. La unión entre cada tubería y la placa absorbente suele hacerse por soldadura, en toda la longitud del tubo o por puntos. En el primer caso, es importante que la unión sea metálica en toda la longitud de la tubería, para que la transferencia de calor se realice a través de una superficie de alta conductividad térmica. Si se realiza soldadura por puntos hay que asegurarse de que el contacto entre tubo y absorbente, en las zonas que no han sido soldadas, sea metálico. Si entre la tubería y el absorbente existen zonas de contacto deficiente la transferencia de calor se realiza por convección en lugar de por conducción, generando una mayor resistencia térmica y dificultando la transferencia desde la placa absorbente al tubo por el que circula el fluido caloportador.

**Aislamiento:** Para reducir las pérdidas térmicas del captador es conveniente aislar las zonas no expuestas la mayor parte del día a la radiación solar, estas son los laterales y la parte posterior del captador solar. Un buen aislamiento térmico en estas zonas contribuye a disminuir el factor de pérdidas térmicas del captador aumentando consiguientemente su rendimiento.

**Carcasa:** Es el elemento que sirve para conformar el captador, fijando la cubierta. Contiene y protege a los restantes componentes del captador y soporta los anclajes. Habrá que prestar especial atención a los temas de corrosión y deterioro debido a la radiación solar. Debe asegurar la estanqueidad del colector para evitar pérdidas.

Para distinguir las distintas áreas consideradas en un colector, ya que el nombre de estas varía atendiendo a según qué laboratorio haya realizado el ensayo del equipo, se definen a continuación:

- *Área total AG*: Área comprendida entre los bordes externos de la carcasa.
- *Área de Apertura, Aa*: Es la superficie abierta del captador para la radiación solar, que en los colectores de placas planas, coincide con el área de la cubierta transparente, sin contar la junta. En captadores de vacío, la definición de esta área es más complicada y además depende del tipo de colector de vacío que se trate. Su expresión, al igual que las del resto de áreas características exclusivas de los tubos de vacío, queda fuera del alcance de este texto.
- *Área del absorbedor AA*: Suma de las áreas de las aletas y de las tuberías internas de distribución expuestas a la radiación.
- *Área activa del absorbedor*: Suele coincidir con el área AA, salvo en el caso de los colectores en los que el absorbedor se extiende por debajo del marco del captador, en los que el área del absorbedor puede ser mayor que el área de apertura, siendo el área activa aquella porción de área del absorbedor que no está sombreada por el marco del captador (es decir, equivale al área de apertura).

Esta distinción se hace para evitar problemas a la hora de considerar un parámetro muy importante como el área que se emplea en el dimensionado de la superficie de captación, que es el área del colector activa desde el punto de vista energético. Esta, que es el área de apertura, se define de forma inequívoca a todos los colectores según norma EN 12975.

### 1.2.8. Selección de Modelo de colector y análisis de opciones

En este apartado se expondrán las distintas variables que se han tenido en cuenta a la hora de seleccionar los colectores.

Las principales tecnologías que existen para colectores solares que se utilizan en aplicaciones de A.C.S. y calefacción son los colectores de placas planas y de tubos de vacío, como ya se ha visto anteriormente.

En la instalación de este proyecto se ha seleccionado un colector de placas planas, el ya mencionado RAND RAL 4S. Los motivos por los que se ha escogido este modelo son:

- Los colectores de vacío pueden alcanzar unas temperaturas de trabajo más elevadas y tienen unas pérdidas térmicas mucho más reducidas que los colectores de placas planas. Sin embargo, trabajan en unas condiciones de presión y temperatura más exigentes que los colectores planos, lo que hace que los diseños de este tipo de sistemas sean más complejos, y por lo tanto, más caros, que sus equivalentes de tecnología de placas planas. Todo esto encarece el precio de la energía solar térmica en una aplicación, como es la obtención de A.C.S., que no requiere los niveles de temperaturas a los que puede trabajar un colector de vacío, teniendo en cuenta además que la mejora significativa en rendimiento que esta tecnología puede ofrecer sólo se da en aplicaciones en las que se trabaje con diferencias de temperatura muy elevadas, que no es el caso de la obtención de ACS
- El mercado de colectores de placas planas es, en España y por lo general, en toda Europa, mucho más grande que el de colectores de vacío (en una proporción del 80 al 95%), lo que garantiza una mayor y más variada oferta y facilidad en el servicio y mantenimiento.
- Una de las mayores ventajas de los captadores de tubos de vacío es que tienen más versatilidad de colocación que los colectores planos,

pero en esta edificación al ser la cubierta plana y sin obstáculos salvo un peto perimetral de 1 m de altura no supone un problema la instalación de colectores planos.

Una vez establecida que la tecnología que se va a utilizar es de placas planas, la variedad de ofertas del sector que presentan es muy grande. Con el fin de elegir un modelo determinado de colector solar plano se han tenido en cuentas las siguientes variables:

- Indispensable, se deberá cumplir con la normativa, así el captador seleccionado deberá poseer la certificación emitida por el organismo competente en la materia (en el caso español, el CENER o el INTA), según lo regulado en el RD 891/1980 de 14 de Abril, sobre homologación de los captadores solares.
- Se dispondrá una superficie colectora homogénea, compuesta por un solo modelo de colector solar prefabricado de superficie definida. Esto facilita los procesos de montaje en superficies de captación de tamaño medio-grande y su mantenimiento.
- También se han estudiado las restricciones que impone la zona de ubicación del campo de colectores. No se puede instalar un colector de un tamaño tal que se le proyecte sombra.

#### **1.2.10. Características constructivas y de funcionamiento.**

En primer lugar, se detallan las características técnicas del colector seleccionado:



MODELO	RAND RAL4S
Dimensiones Externas (mm)	2510 X 1480 X 95
Area de Absorción (m <sup>2</sup> )	3,6
Superficie	Recubrimiento Selectivo
Peso Vacio ( kg)	53
Tuberías	Cobre
Carcasa	Aluminio Anodizado
Cubierta	Cristal Solar Antireflectante de 4 mm de espesor
Rendimiento Óptico (%)	78
Aislación	Poliuretano expandido de 30 mm de espesor
Conexión (Diámetro)	3/4" HI BSP
Cubierta Trasera	Polipropileno
Capacidad de Fluido (Lts.)	2,6
Presión máxima (Bar)	8
Procedencia	Israelita

*Fig. 38a. Especificaciones técnicas RAND RAL 4S*

Fluido de trabajo:

- Tipo: Propilenglicol con una concentración de 10% (teniendo en cuenta la temperatura mínima de la localización)
- Densidad: 1,036 g/cm<sup>3</sup>.



*Fig. 38b: Vista del colector RAND RAL 4S.***1.2.11. Consideraciones sobre el rendimiento.**

Como ya se ha comentado anteriormente el rendimiento del colector viene dado por el fabricante

Para el colector utilizado en este proyecto (el ya mencionado RAND RAL 4S) el fabricante facilita esta ecuación de rendimiento:

**Eq 5.**

$$\eta = 0,828 - 0,4441 U_0 (T_e - T_a) / G$$

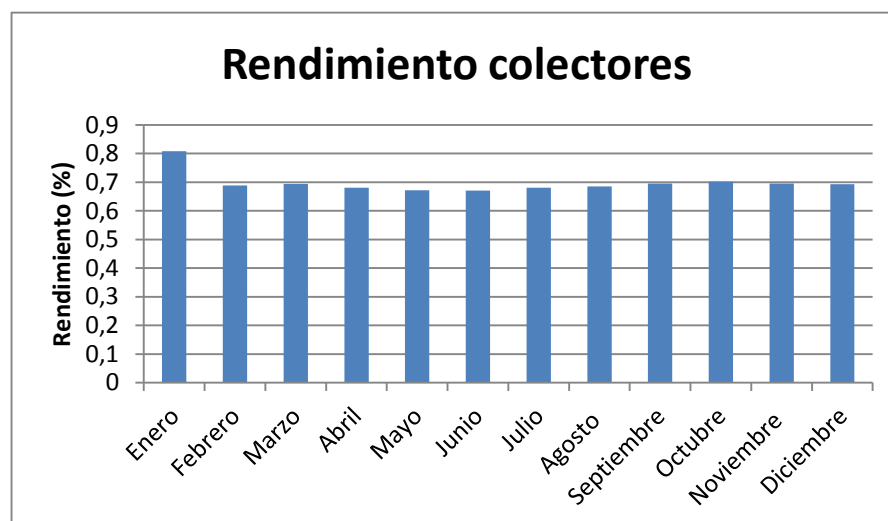
Donde:

$$G = \frac{(H_m B(b, g) * 3600)}{n^{\circ} \text{ días mes} * \text{horas sol al día}} \quad (\text{Eq.6})$$

$$T_e = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$T_a$ : Temperatura ambiente media del mes.

Con esta ecuación se obtiene un rendimiento característico para cada mes, que para la ciudad de Denia se obtiene:

*Fig. 39: Tabla de los distintos rendimientos a lo largo del año.*

Que es muy cercano el rendimiento de 78% que indica el fabricante.

### **1.2.12. Diseño de la Superficie Colectora**

Siguiendo con el modo de proceder a la hora del diseño de la instalación, se exponen los parámetros que se han considerado a la hora de definir el campo de colectores, una vez escogido el modelo de colector y dimensionada la superficie de captación.

Como conclusión de este proceso de diseño arquitectónicamente se han considerado como variables principales, las variables que se ven más afectadas debidas a la física solar y a la disposición individual de los colectores, tales como su orientación, inclinación y separación, cuyas conclusiones modifican las hipótesis de cálculo consideradas en el programa de dimensionado de la superficie captadora. Además de las variables solares se han tenido en cuenta las propiamente físicas relativas a la integración y disposición del campo de colectores en general con la arquitectura propia del edificio. Las conclusiones de estos cálculos se concretan en este apartado en la disposición final del campo de colectores.

Hidráulicamente, se han tenido en cuenta los criterios de buenas prácticas en diseño de este tipo de circuitos, así como las prescripciones normativas y condiciones de trabajo del colector seleccionado.

### **1.2.13. Disposición del campo de colectores sobre la cubierta y circuito hidráulico.**

### **1.2.14. Estructura de Soporte**

Con respecto a la disposición de los colectores, esta se realizará de acuerdo a las conclusiones obtenidas del análisis de orientación, inclinación y sombreado, además de las posibles particularidades del colector solar, del conexionado hidráulico y derivados de la normativa.

Como definición del esquema hidráulico que se adoptará para la instalación de este proyecto, estará compuesta de dos circuitos de circulación forzada. El motivo de esta diferencia se razonará subconjunto

de termo transferencia. El diseño del circuito ha de centrarse en conseguir un sistema equilibrado hidráulicamente con una distribución uniforme de las pérdidas de carga que debe ser siempre menor de 40 mmca.

- Circuito primario: el correspondiente a los componentes relacionados con el campo de colectores y sus conexiones. En el diseño hidráulico de este circuito se pretende alcanzar un flujo lo más uniforme posible a través de cada colector para maximizar la transmisión de calor.
- Circuito secundario: abarca el sistema de acumulación y distribución de ACS y calefacción hacia las viviendas.

En el circuito primario medio suele estar comprendido entre los 40 y 80 litros por hora y metro cuadrado de captación, para poder asegurar un régimen de flujo turbulento energético. En el caso que nos atañe, como se expondrá posteriormente el caudal que va a recorrer el circuito primario es de 50 l/h m<sup>2</sup>, siendo relativamente bajo, con lo que el caudal total del circuito primario será de 3960 l/h, tomado como referencia el edificio Oeste que tiene la mayor longitud de tubería.

Respecto a la conexión entre los colectores, el CTE especifica lo siguiente:

Los captadores se dispondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie ó en serie-paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre, en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc. Además se instalará una válvula de seguridad por fila con el fin de proteger la instalación.

Dentro de cada fila los captadores se conectarán en serie ó en paralelo. El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante. En el caso de que la aplicación sea exclusivamente de ACS se podrán conectar en serie hasta 10 m<sup>2</sup> en las zonas climáticas I y II, hasta 8 m<sup>2</sup> en la zona climática III y hasta 6 m<sup>2</sup> en las zonas climáticas IV y V.

La conexión entre captadores y entre filas se realizará de manera que el circuito resulte equilibrado hidráulicamente recomendándose el retorno invertido frente a la instalación de válvulas de equilibrado.

Los captadores pueden conectarse de tres formas: en serie, en paralelo o en serie-paralelo (sistema mixto). La configuración del

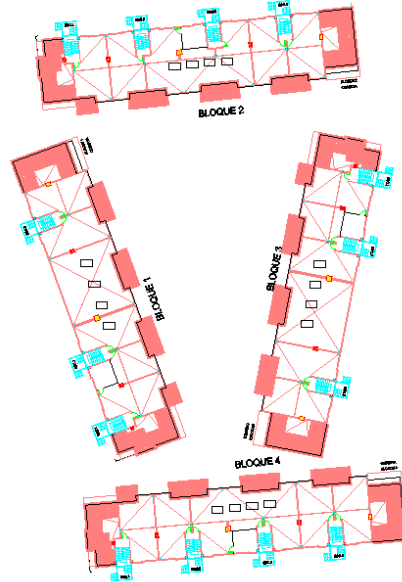
conexionado de los colectores del proyecto será de todos los colectores en paralelo.

El conexionado en paralelo tiene mayor rendimiento pero mayor coste, ya que se incrementa la longitud de las tuberías y el número de accesorios. Además se evita que el fluido se sobrecaliente porque se alcanza más lentamente la temperatura de 50 °C en el agua de acumulación, temperatura con la que se imposibilitará la proliferación de las bacterias que provocan la leginiosis. Este tipo de conexión asegura un caudal de trabajo mayor, con lo que se consigue calentar en el circuito primario una cantidad de volumen mayor se transmite más energía al sistema de A.C.S. del circuito secundario. Para conseguir un rendimiento óptimo en este tipo de configuraciones, es necesario un diseño de circuito equilibrado hidráulicamente por lo el caudal debe ser lo más homogéneo posible. Este equilibrio se consigue mediante válvulas reguladoras como recomienda el CTE.

Con la conexión en serie se reducen los costes derivados de tuberías de menor longitud y menos accesorios. Pero tienen el inconveniente de que poseen un rendimiento menor disminuya en el sentido del avance del líquido caloportador, ya que al pasar el fluido de un colector a otro la temperatura de entrada en cada uno va aumentando, disminuyendo la eficacia global del sistema (recordar que las pérdidas del colector crecen linealmente con la diferencia de temperaturas entre el fluido del colector y el ambiente). Este tipo de conexión en serie es más recomendable para instalaciones en las que se precise de un gran número de colectores. Pero en el caso de este proyecto de 16 colectores distribuidos en cuatro sub-instalaciones de cuatro colectores cada una, se pueden conectar en paralelo sin ningún problema y teniendo en cuenta el retorno invertido que ya se ha comentado anteriormente.

Respecto a la distribución de los colectores la distancia mínima entre filas paralelas de colectores solares, como se demostrará en el apartado de cálculos, es de 251 cm. Esta cifra se redondeará a una

distancia de 260 cm. Los colectores tienen que estar a su vez a 241 cm del peto perimetral por el mismo motivo de sombras, se redondeará a 250 cm. La disposición del campo de colectores, queda como se ve en la siguiente figura:



*Fig. 40: Disposición final de los colectores.*

#### 1.2.15. Subconjunto de Acumulación

El sistema de acumulación permite acoplar en el tiempo la disponibilidad de radiación solar a la demanda de los servicios de A.C.S., calefacción o climatización.

Los acumuladores solares son depósitos en los que se almacena, como vector energético, la energía obtenida en el subsistema de captación. Estos equipos cumplen la misión de independizar el suministro de calor solar del consumo, esto es necesario ya que el periodo temporal de entrada de energía no suele ser el mismo que el correspondiente al consumo energético. Dependiendo de la aplicación de la instalación solar y de la fracción solar deseado el tiempo de acumulación puede variar desde unas pocas horas o en el caso de acumuladores estacionales (aplicaciones de calefacción de distrito) hasta meses.

El elemento principal del sistema de acumulación es el tanque de almacenamiento, cuyo objetivo es almacenar energía térmica en forma de agua caliente de manera eficiente, evitando en lo posible las pérdidas de calor y favoreciendo la estratificación en su interior.

Los requisitos que se exigen a un sistema de acumulación solar son los siguientes:

- Medio de acumulación de elevado calor específico y de volumen reducido por las mismas razones que se expusieron como criterio de selección del fluido de trabajo en el apartado dedicado al fluido caloportador. En el caso de este proyecto, se tomará como medio de acumulación agua de la red de distribución (hay desarrollos que almacenan la energía en forma de calor sensible elevando la temperatura de piedras o acumuladores químicos, en los que la energía se en reacciones químicas reversibles)
- Bajo nivel de pérdidas térmicas, lo que se consigue a través de un buen aislamiento y de una pequeña superficie del acumulador. Este factor unido al requerimiento de minimizar el volumen del acumulador, impone geometrías cilíndricas de acumulación. Los depósitos cilíndricos presentan además una mayor facilidad de fabricación-
- Buena estratificación de temperaturas en el acumulador. Esta se conseguirá mediante una acumulación estratificada en varios depósitos. La disposición vertical de los tanques de acumulación es fundamental para mantener esta estratificación térmica; también presenta otras ventajas, como la necesidad de menos espacio al aprovechar mejor la altura de las habitaciones y el ahorro en sistemas de sujeción y anclaje.
- Rápida respuesta a la demanda y temperatura de acumulación acorde con la necesidad concreta.

- Bajo coste, larga vida útil, buenas propiedades medioambientales y de higiene (materiales aptos para estar en contacto con A.C.S.) y adecuadas condiciones de integración arquitectónica.

#### 1.2.16. Dimensionado del Volumen de Acumulación.

El dimensionado del acumulador solar depende, en primer lugar, del tamaño del campo de colectores, que está directamente relacionado con la demanda de A.C.S.

Hay que considerar también las características constructivas del propio edificio. Es fundamental a este respecto la distancia entre forjados en la sala en la que se vaya a instalar el sistema de acumulación. Esta altura determinará el tamaño máximo de los depósitos de acumulación.

A este respecto, el CTE establece lo siguiente:

El sistema solar se debe concebir en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del generador (captadores solares), por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda al no ser ésta simultánea con la generación.

Para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < \frac{V}{A} < 180 \quad (3.3)$$

siendo

A la suma de las áreas de los captadores [m<sup>2</sup>];

V el volumen del depósito de acumulación solar [litros].

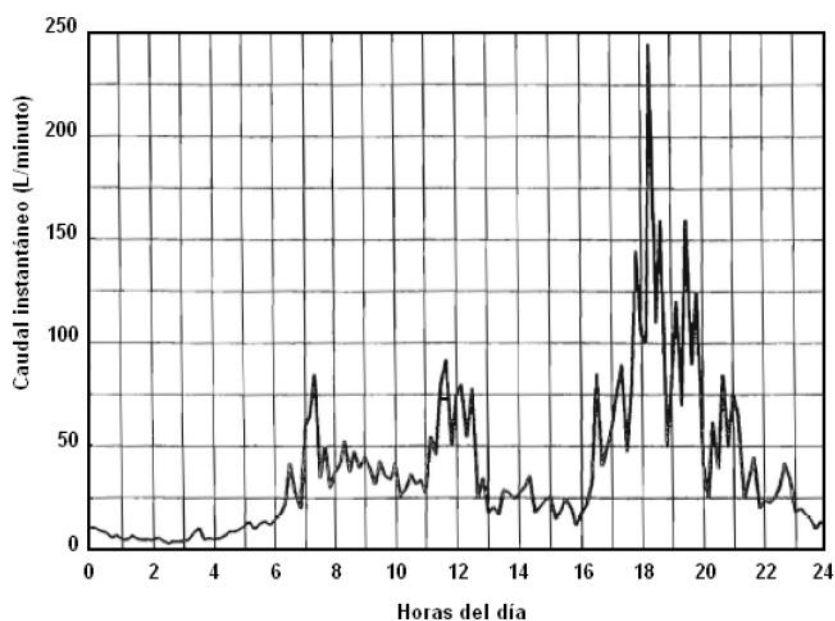
En el documento DTIE 1.01 se indica que el caudal instantáneo demandado por una instalación de agua caliente sanitaria varía de forma extremadamente brusca de un instante a otro. Su distribución en el tiempo depende de los hábitos y de la actividad de los usuarios y, en el caso de edificios de viviendas, se acentúan durante los fines de semana.

La siguiente gráfica, obtenida del documento anterior, representa de forma indicativa, la variación del caudal en un edificio de viviendas a lo largo de un día laboral. Se distinguen claramente tres zonas que agrupan unas demandas instantáneas muy elevadas:

- Entre las 6:00 y las 8:00 horas



- Entre las 11:00 y las 13:00 horas
- Entre las 17:00 y las 20:00 horas



*Fig. 41: Variación del caudal en un edificio de viviendas en un día laboral.*

Para el cálculo del dimensionado de los acumuladores se recurrirá como se ha expuesto anteriormente al método F-Chart, que se planteará en la sección de cálculos. Este método establece que el volumen almacenamiento por  $\text{m}^2$  colector sea de  $75 \text{ l/m}^2$ . Hay que destacar que el uso de mayores valores de acumulación no conlleva porcentajes significativamente superiores de aprovechamiento de energía solar. De hecho, puede dar como resultado temperaturas de acumulación inferiores a las de diseño, además de encarecer el coste del acumulador innecesariamente. Para cubrir la demanda de A.C.S. de durante un día se asegura con una acumulación específica de en torno a 70 litros. Para edificios de viviendas como el de este proyecto, este valor de acumulación total es idónea, ya que tiene una escasa variación diaria de perfiles de demanda de A.C.S., los picos de consumo se producen en los periodos durante los que el aporte energético solar es prácticamente nulo, es decir durante las primeras horas y sobre todo las últimas horas del día. Por lo que este volumen basta con garantizar la acumulación de energía de un

día para otro, no habiendo desfases entre la captación y consumo superiores a 24 h.

El volumen de acumulación obtenido por el método F-Chart es de 4320 litros. La disposición final del volumen de acumulación será de dos acumuladores de 559 litros por edificios, se ha optado por esta configuración de dos acumuladores por instalación por motivos de seguridad.

Para los ocho acumuladores se ha escogido el mismo modelo, el acumulador de la marca Ariston, específicamente el modelo MAXIS CK1 1600 EU cuyas características técnicas son:

Ariston	MAXIS CK1 1600 EU
Capacidad del acumulador (l)	559
Altura del acumulador H (mm)	1945
Diámetro $\varnothing$ (mm)	850
Dispersión térmica/día (W)	92

DATOS TÉCNICOS		CK1 1600 EU
<b>Características generales</b>		
Capacidad	l	559
Dispersión térmica/día	W	92
Presión máxima funcionamiento*	bar	3
Temperatura máx. trabajo acumulador	°C	95
<b>Serpentines</b>		
Temperatura máx. trabajo serpentín	°C	110
Superficie intercambio serpentín inferior	m <sup>2</sup>	2,1
Capacidad serpentín inferior	l	13
Potencia serpentín inferior a 900 l/h*	kW	28,4/50,7
Pérdidas de carga inferior a 900 l/h*	mbar	25
Presión máx. func. serpentín inferior	bar	10
Peso neto	kg	113



Fig. 42: Acumulador MAXIS CK1 1600 EU.

### 1.2.17. Subconjunto de termotransferencia

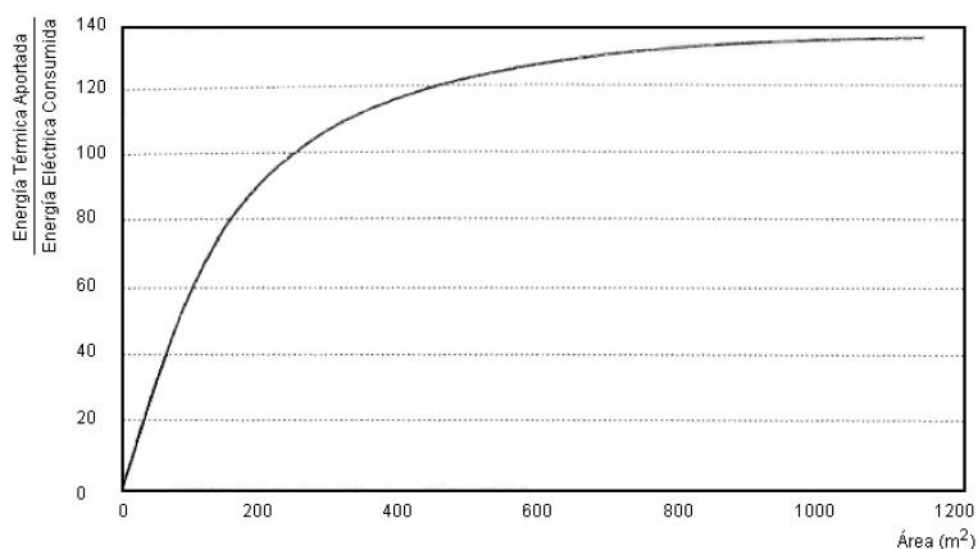
En este proyecto se considera el subconjunto de termotransferencia como el sistema encargado de transmitir la energía térmica obtenida en los colectores al usuario final del A.C.S. Esto incluye no solo al conjunto de sistemas puramente hidráulicos, como bombas y conducciones, que posibilitan la circulación de fluido (del tipo que sea según lo diseñado) también a los sistemas en los que, dada la configuración de la instalación

en circuitos cerrados, se produce el intercambio efectivo de energía, vía transmisión de calor, entre los diferentes circuitos. Estos últimos, equipos que combinan tecnología térmica e hidráulica, son los intercambiadores de calor.

#### 1.2.18. Distribución de A.C.S.

El máximo efecto útil de las instalaciones solares se alcanza cuando se consigue la máxima energía térmica útil con el menor consumo de energía en el trasvase. Este máximo efecto útil se consigue manteniendo la capacidad de evacuación de energía térmica del conjunto de colectores, que está muy relacionada con el caudal en circulación.

En las instalaciones de circulación forzada es posible mantener esa capacidad de evacuación, e incluso mejorar a medida que aumenta el tamaño de la instalación solar, tal y como puede apreciarse en la siguiente gráfica obtenida del DTIE 8.03.



*Fig. 43: (Energía térmica aportada/Energía eléctrica consumida) en función del área de captadores.*

La gráfica revela que al aumentar el área de captación aumenta la relación entre la energía térmica aportada y el consumo de energía

eléctrica de la bomba por lo que en términos energéticos se mejora la evacuación térmica. El sistema de distribución de la instalación se diseña de modo que las pérdidas mecánicas (pérdidas de carga en conductos y colectores) sean mucho más pequeñas que las térmicas.

Por lo motivos expuestos, y dado el considerable tamaño de la instalación, se diseña en este proyecto una instalación de circulación forzada puesto que la distribución de los fluidos por los circuitos de la instalación se lleva a cabo mediante bombas. Además, la circulación natural no asegura un adecuado control de la operación de la instalación porque proporciona caudales muy reducidos, y variables en función de las temperaturas de trabajo de los fluidos que circulan por ella.

Como ya se ha ido indicando a lo largo del proyecto, el diseño que se ha considerado con respecto a la distribución de A.C.S. al usuario final es de distribución de A.C.S. vivienda a vivienda y que le llega al usuario final será directamente el agua del circuito secundario (que es el fluido caloportador en este circuito).

Para grandes instalaciones en las que la factura del agua y de combustible la paga una sola entidad como por ejemplo en hoteles y hospitales, el cómputo de cualquier consumo como electricidad o agua no es tan sensible como en edificios de viviendas con muchos vecinos. Por lo que se ha optado por este principio de diseño basado en un tipo de filosofía de cómputo de A.C.S. y del agua de la red de distribución consumida por cada vecino.

Para la distribución de los gastos en agua fría y A.C.S. entre cada vecino, se ha optado por la instalación de un caudalímetro para el cómputo del ACS y otro caudalímetro distinto para el cómputo de agua fría.

#### **1.2.19. Caudal de diseño**

El caudal de diseño de la instalación es un parámetro fundamental en la especificación de una instalación solar, puesto que determina el dimensionado de todos los sistemas del circuito hidráulico.

Anteriormente, se apuntaron los factores que influyen a la hora de determinar el caudal nominal de la superficie colectora de una manera más condicionante, en el apartado dedicado al conexionado de los colectores. Se estableció, a partir del caudal de circulación recomendado por el fabricante del colector, que se trata de un sistema de 50 l/h m<sup>2</sup>, con las características térmicas ya expuestas que esto conlleva.

Desde el punto de vista hidráulico cuanto más bajo sea el caudal ello implica una reducción en las pérdidas de carga lo que desemboca en una menor potencia necesaria para mover el fluido (bombas más pequeñas y de menor consumo eléctrico). El valor específico de caudal por unidad de superficie arroja un valor total de caudal en el circuito primario (considerando toda la superficie de captación) de aproximadamente (hay que tener en cuenta el volumen de tuberías, bombas y demás equipos del sistema primario) 3960 l/h.

Este valor de caudal es constante durante todo el año, inclusive durante los periodos de tiempo en los que se desvía energía a la piscina.

Con respecto al caudal del circuito secundario al principio del mismo, y que será el que se deba repartir a cada vivienda, se tomará un valor de 3369 l/h, que se explicará en la sección de cálculos y que depende del número de elementos que consuman agua caliente por vivienda así como de un coeficiente de simultaneidad por vivienda y otro por edificio.

#### **1.2.20. Dimensionado de tuberías**

Con el objetivo de reducir las pérdidas mecánicas en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura se establece

que la longitud de las tuberías deberá ser tan corta como sea posible, evitando al máximo codos y pérdidas de carga en general.

Con respecto al material y al diseño deberán evitarse la posibilidad de obturaciones o depósitos de cal en sus circuitos que puedan reducir el rendimiento del sistema. Dado que en una instalación solar se alcanzan temperaturas y presiones altas, es recomendable que las tuberías y los elementos de conexión sean metálicos. Se ha escogido por la instalación de tuberías de cobre por las siguientes razones:

- De los materiales que se usan comúnmente para la fabricación de tuberías, el cobre es el que tiene la menor tendencia hacia la corrosión y permanece inafectado frente a condiciones que hacen que otros metales se corroan.
- En presencia de oxígeno, el cobre es el único metal que capaz de formar en su superficie una capa protectora de óxido y sulfato de cobre llamada pátina. Esta película, a diferencia de la que se forma en otros metales, es completamente lisa e insoluble al agua, de modo que en lugar de afectar al metal, lo protege contra el ataque del medio que lo rodea.
- El óxido que pudiera desprenderse al formarse la capa protectora, no es perjudicial a la salud ya que por un lado el cobre es necesario al metabolismo humano y por otro, la cantidad a ingerir es despreciable. Sin embargo, el óxido formado en otro tipo de tuberías metálicas puede alcanzar concentraciones perjudiciales a la salud.
- Las propiedades del cobre lo hacen especialmente adecuado para las tuberías del interior del edificio puesto que: no favorece la combustión, no conduce el fuego contra las paredes y pisos y no emite gases tóxicos, que son la principal causa de muerte por asfixia.

El sistema de tuberías de la instalación está compuesto por dos sistemas bien diferenciados, que se han venido comentando durante todo el proyecto, el circuito primario, es decir, que conecte los distintos colectores entre si y a los acumuladores. El otro sistema es obviamente para el circuito secundario que es el que distribuye a las viviendas.

A la hora de dimensionar es necesario tener en cuenta tanto el caudal como las pérdidas que se producen por elementos como: codos, válvulas de retención, válvulas en esfera, longitud de la tubería...

El dimensionamiento de las tuberías consiste en determinar la longitud y el diámetro de tubería apropiado en cada uno de los tramos.

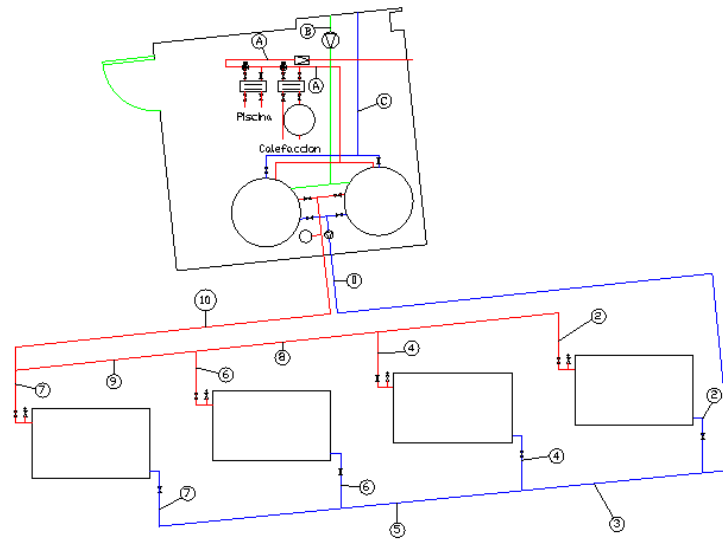
Básicamente se distinguen:

- Tramos de tubería por el que circula fluido frío desde los acumuladores hasta cada colector.
- Tramos de tubería por el que circula el fluido caliente desde cada colector hasta los acumuladores
- Tramos de tubería por el que circula fluido caliente desde los acumuladores para la distribución, hasta las piscina, para la calefacción y A.C.S.
- Tramos de tubería por el que circula fluido frío que retorna a los acumuladores.

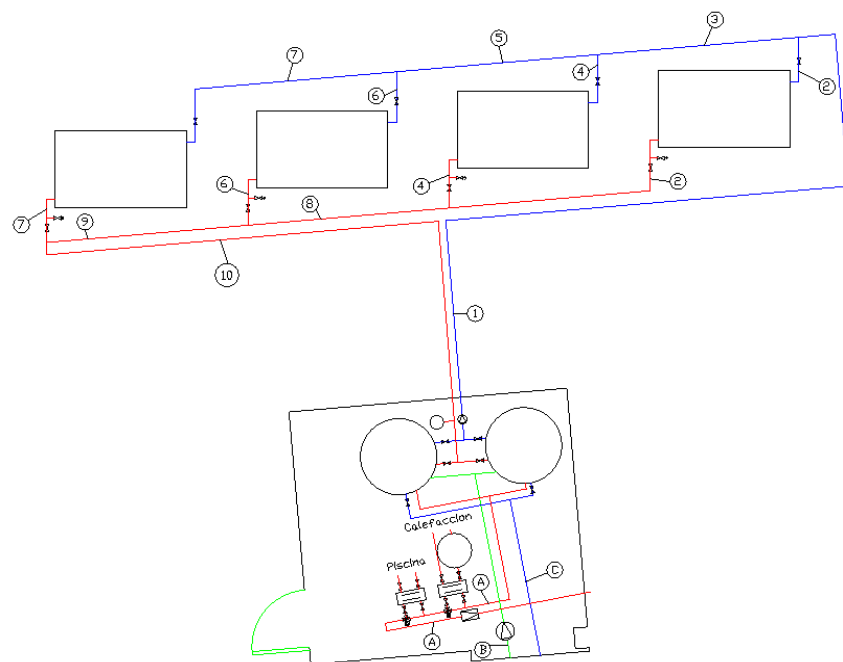
En el circuito primario como se ha comentado, el caudal se establece en 50 l/h m<sup>2</sup>. El sistema de tuberías se divide en tramos en los que en cada uno a partir del número de captadores que está conectado a cada tramo y del caudal unitario del circuito se obtiene el caudal que pasa por ese tramo.

En el Documento Básico HS del CTE, se establece que para tuberías metálicas la velocidad del fluido que circula por la tubería ha de estar comprendida entre 0.2 y 3 m/s. A partir de estos datos se utilizan

ábacos de cálculo de tuberías y se escoge el diámetro tal que para ese caudal su pérdida de carga sea menor de 40 mmca/m.

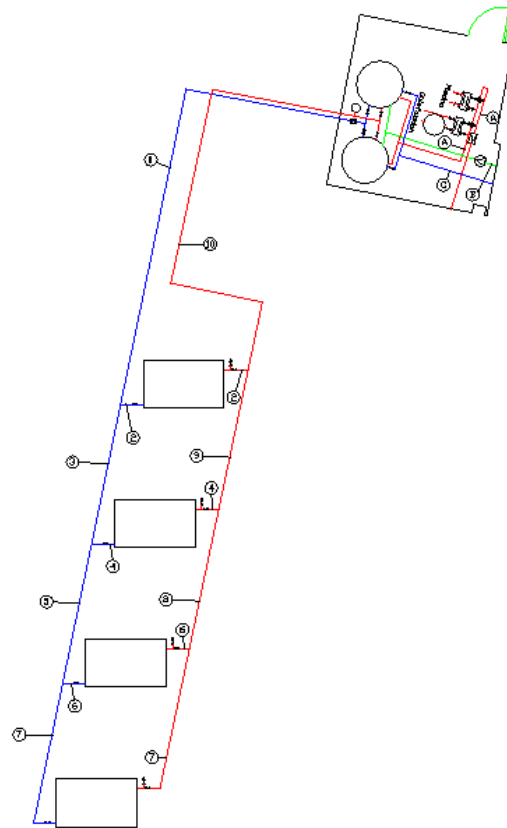


**Fig. 44:** Sección de identificación tramos edificio norte.

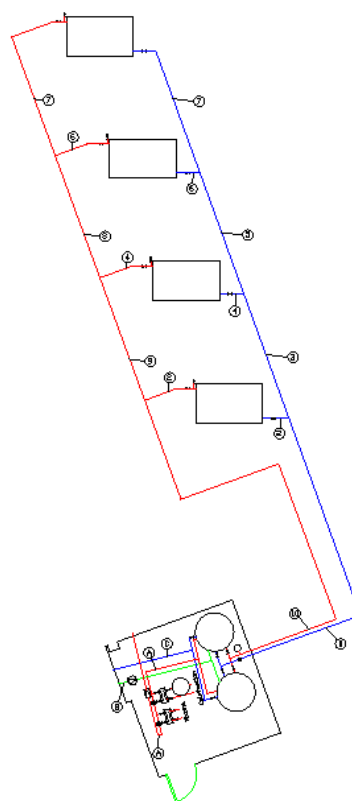


**Fig. 45:** Sección de identificación tramos edificio sur.





*Fig. 46: Sección de identificación tramos edificio este.*



*Fig. 47: Sección de identificación tramos edificio oeste.*

Como se puede apreciar cada circuito primario tiene distinta configuración, así que tienen pérdidas de carga distintas, como se demostrará más adelante el circuito que tiene mayores pérdidas de carga es el circuito primario del edificio norte, aunque muy parecidas. De aquí en adelante se supondrá el circuito primario el del edificio Oeste ya que es el que tiene mayores pérdidas de carga

Número tramo	Número captadores	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro exterior (mm)	Velocidad (m/s)	Diámetro interior (mm)	mm.c.a./m	mm.c.a. tramo
1	4	23,61	720	28	0,38	26	7,86	185,54
2	1	10,34	180	28	0,09	26	0,60	6,24
3	3	5,8	540	28	0,28	26	4,61	26,75
4	1	4,55	180	28	0,09	26	0,60	2,74
5	2	5,68	360	28	0,19	26	2,18	12,36
6	1	4,55	180	28	0,09	26	0,60	2,74
7	1	10,3	180	28	0,09	26	0,60	6,21
8	2	5,86	360	28	0,19	26	2,18	12,76
9	3	5,78	540	28	0,28	26	4,61	26,66
10	4	16,4	720	28	0,38	26	7,86	128,88

**Fig. 48a:** Tabla de pérdidas de carga y diámetro del circuito primario del edificio norte.

Número tramo	Número captadores	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro exterior (mm)	Velocidad (m/s)	Diámetro interior (mm)	mm.c.a./m	mm.c.a. tramo
1	4	24,92	720	28	0,38	26	7,86	195,83
2	1	2,39	180	28	0,09	26	0,60	1,44
3	3	6,67	540	28	0,28	26	4,61	30,77
4	1	2,39	180	28	0,09	26	0,60	1,44
5	2	6,57	360	28	0,19	26	2,18	14,30
6	1	2,39	180	28	0,09	26	0,60	1,44
7	1	15,75	180	28	0,09	26	0,60	9,50
8	2	6,66	360	28	0,19	26	2,18	14,50
9	3	6,81	540	28	0,28	26	4,61	31,41
10	4	26,51	720	28	0,38	26	7,86	208,32

**Fig. 48b:** Tabla de pérdidas de carga y diámetro del circuito primario del edificio este.

Número tramo	Número captadores	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro exterior (mm)	Velocidad (m/s)	Diámetro interior (mm)	mm.c.a./m	mm.c.a. tramo
1	4	21,41	720	28	0,38	26	7,86	168,25
2	1	4,77	180	28	0,09	26	0,60	2,88
3	3	7,49	540	28	0,28	26	4,61	34,55
4	1	4,77	180	28	0,09	26	0,60	2,88
5	2	7,2	360	28	0,19	26	2,18	15,67
6	1	4,77	180	28	0,09	26	0,60	2,88
7	1	19,46	180	28	0,09	26	0,60	11,73
8	2	7,35	360	28	0,19	26	2,18	16,00
9	3	7,4	540	28	0,28	26	4,61	34,13
10	4	29,24	720	28	0,38	26	7,86	229,78

**Fig. 48c:** Tabla de pérdidas de carga y diámetro del circuito primario del edificio oeste.

Número tramo	Número captadores	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro exterior (mm)	Velocidad (m/s)	Diámetro interior (mm)	mm.c.a./m	mm.c.a. tramo
1	4	24,69	720	28	0,38	26	7,86	194,02
2	1	9,25	180	28	0,09	26	0,60	5,58
3	3	5,8	540	28	0,28	26	4,61	26,75
4	1	3,47	180	28	0,09	26	0,60	2,09
5	2	5,79	360	28	0,19	26	2,18	12,60
6	1	3,47	180	28	0,09	26	0,60	2,09
7	1	9,27	180	28	0,09	26	0,60	5,59
8	2	5,79	360	28	0,19	26	2,18	12,60
9	3	5,77	540	28	0,28	26	4,61	26,61
10	4	20,42	720	28	0,38	26	7,86	160,47

**Fig. 48d:** Tabla de pérdidas de carga y diámetro del circuito primario del edificio sur.

Total de pérdidas de carga por tuberías por edificio en el circuito primario:

- Edificio norte: 410,88 mm.c.a.
- Edificio este: 508,95 mm.c.a.
- Edificio oeste: 518,74 mm.c.a.
- Edificio sur: 448,42 mm.c.a.

A continuación se muestra uno de los ábacos que se han utilizado para el cálculo del diámetro de tuberías. Con el fin de unificar diseño y teniendo en cuenta las conexiones de los equipos y las pérdidas de carga,

se ha optado por que las tuberías del circuito primario tengan un diámetro de 3/4" y el circuito secundario, a partir de los acumuladores sea de 1", todas ellas en cobre.

Figura 4.13: Pérdida de carga en función del caudal de agua (60 °C) para tuberías de cobre

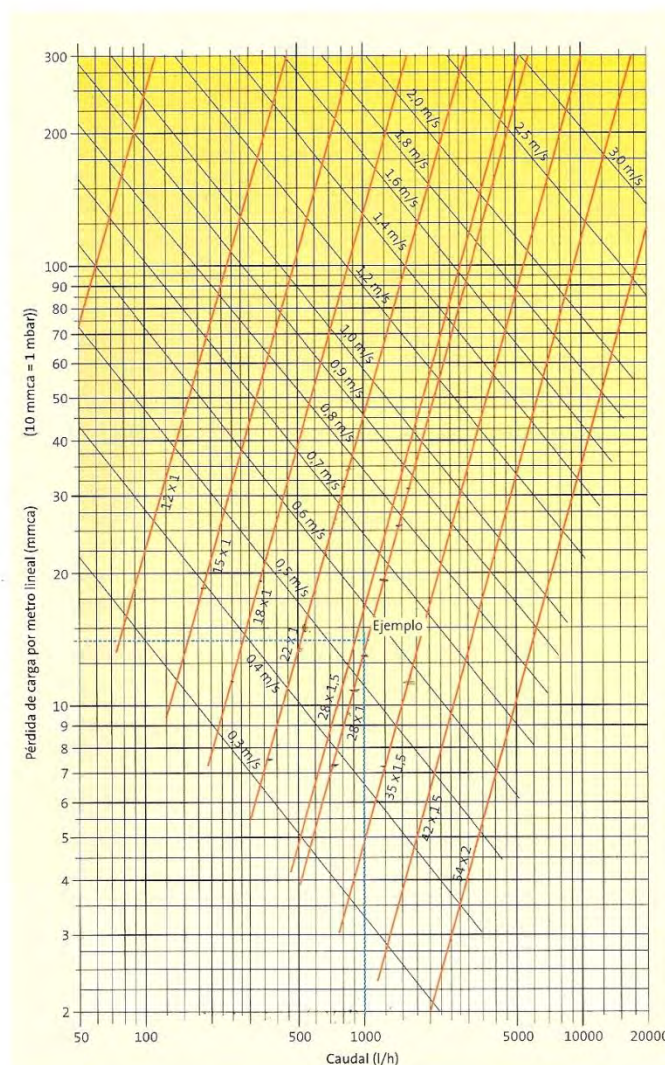


Fig. 49: Ábaco de tuberías.

El diámetro de las tuberías también se podría haber calculado fácilmente a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Caudal}_{\text{tramo}} = \text{velocidad}_{\text{tramo}} \cdot \text{área}_{\text{tramo}}$$

$$v = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{D_{\text{int}}^2}{4}}$$

Donde:

$v$  es la velocidad a la que circula el fluido en la tubería ( m/s).

$Q$  es el caudal de fluido que circula por la tubería (m<sup>3</sup>/s).

$D_{int}$  es el diámetro interno de la tubería (m).

En el circuito secundario el proceso es el mismo, solo que ahora el caudal global es el caudal de consumo unitario, que como se ha explicado antes es de 720 l/h.

Pérdidas por tuberías del circuito secundario de los edificios Norte y Sur, siendo los tramos del 1 al 12 los tramos A a L del plano del circuito secundario y los tramos 13, 14 y 15, los tramos A,B y C del cuarto de acumuladores.

Número tramo	Número captadores	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro exterior (mm)	Velocidad (m/s)	Diámetro interior (mm)	mm.c.a./m	mm.c.a. tramo
1	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84
2	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84
3	4	42,26	720	35	0,23	33	2,46	103,97
4	4	42,26	720	35	0,23	33	2,46	103,97
5	4	2	720	35	0,23	33	2,46	4,92
6	4	1	720	35	0,23	33	2,46	2,46
7	4	1	720	35	0,23	33	2,46	2,46
8	4	2	720	35	0,23	33	2,46	4,92
9	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84
10	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84
11	4	22,75	720	35	0,23	33	2,46	55,97
12	4	27,5	720	35	0,23	33	2,46	67,66
13	4	16,18	720	35	0,23	33	2,46	39,81
14	4	6,77	720	35	0,23	33	2,46	16,66
15	4	9,25	720	35	0,23	33	2,46	22,76

**Fig. 50a:** Tabla de pérdidas de carga y diámetros del circuito secundario (Norte-Sur).

Total de pérdidas de carga en tuberías en los edificios Norte y Sur:  
442,16 mm.c.a.

Pérdidas por tuberías del circuito secundario de los edificios Este y Oeste, siendo los tramos del 1 al 12 los tramos A a L del plano del circuito secundario y los tramos 13, 14 y 15, los tramos A,B y C del cuarto de acumuladores.

Número tramo	Número captadores	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro exterior (mm)	Velocidad (m/s)	Diámetro interior (mm)	mm.c.a./m	mm.c.a. tramo
1	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84
2	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84
3	4	42,26	720	35	0,23	33	2,46	103,97
4	4	42,26	720	35	0,23	33	2,46	103,97
5	4	2	720	35	0,23	33	2,46	4,92
6	4	1	720	35	0,23	33	2,46	2,46
7	4	1	720	35	0,23	33	2,46	2,46
8	4	2	720	35	0,23	33	2,46	4,92
9	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84
10	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84
11	4	22,75	720	35	0,23	33	2,46	55,97
12	4	27,5	720	35	0,23	33	2,46	67,66
13	4	16,18	720	35	0,23	33	2,46	39,81
14	4	6,77	720	35	0,23	33	2,46	16,66
15	4	9,25	720	35	0,23	33	2,46	22,76

*Fig. 50b: Tabla de pérdidas de carga y diámetros del circuito secundario (Este-Oeste).*

Total de pérdidas de carga en tuberías en los edificios Norte y Sur:  
442,16 mm.c.a.

El circuito secundario es igual en los cuatro edificios, cambia la disposición de las tuberías, pero los accesorios y las longitudes son iguales, así que las pérdidas y los diámetros son los mismos.

#### 1.2.20.1. Aislamiento de tuberías

Según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) las tuberías que se encuentran en locales no calefactados y que transportan fluidos a más de 40°C, deben estar aisladas adecuadamente.

La singularidad más evidente de los materiales aislantes radica en que, debido a que en muchos casos se encuentran situados en tramos exteriores, han de comportarse adecuadamente frente a la radiación solar, humedad, corrosión y han de ser resistentes a las acciones de la fauna (pájaros, roedores, etc.).

Para calcular el espesor mínimo del aislante en superficies de sección circular el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE) proporciona la siguiente expresión:

$$d = \frac{D}{2} \left[ e^{\frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \ln \left[ \frac{D+2 \cdot d_{ref}}{D} \right]} - 1 \right]$$

Donde:

- $\lambda_{ref}$  es la conductividad térmica de referencia (0.04W / mK a 10°C).
- $\lambda$  es la conductividad térmica del material empleado (0.037W /mK).
- $d_{ref}$  es el espesor mínimo de referencia (mm).
- $d$  es el espesor mínimo del material empleado (mm).
- $D$  es el diámetro interior del material aislante, coincidente con el diámetro exterior de la tubería (mm).

El espesor mínimo de referencia se extrae de las tablas del RITE que relacionan el diámetro exterior de tubería, las temperaturas máximas y mínimas del fluido que circula por ellas y si discurren por el exterior o el interior de edificios.

Localización	Temperatura del fluido (°C)	Diámetro exterior (mm)	$d_{ref}$ (mm)	$d$ (mm)
Interior del edificio	Máx. 60-100	35	30	25,57
	Mín. 0-10	35	30	25,57
Exterior (cubierta)	Máx. 60-100	28	35	29,60
	Mín. 0-10	28	35	29,60

Se ha optado por el aislamiento proporcionado por las coquillas aislantes ARMAFLEX SH comercializadas por Isover.

Ø máx ext. tubería (mm)	Tubería de cobre Cu		Tuberías de hierro Fe		Tubería de plástico	Coquillas SH/Armaflex						
	Ø Ext (mm)	Pulg.	Ø Ext (mm)	Dia. nominal DN		9 mm Ref.	10 mm Ref.	19 mm Ref.	25 mm	30 mm	36 mm	
									25 mm RITE	30 mm RITE	35 mm RITE	
									30 mm RITE	35 mm RITE	40 mm RITE	
									25 mm RITE	30 mm RITE	40 mm RITE	
12	12		12				SH-10X012 *	SH-19X012				
15	15	1/4	13,5	8	14		SH-10X015 *	SH-19X015 *	SH-25X015			
18	18	3/8	17,2	10			SH-10X018 *	SH-19X018 *	SH-25X018			
20			20		20		SH-10X020 *	SH-19X020	SH-25X020			
22	22	1/2	21,3	15			SH-10X022 *	SH-19X022	SH-25X022			
25	25		25		25		SH-10X025 *	SH-19X025	SH-25X025			
28	28	3/4	26,9	20			SH-10X028 *	SH-19X028 *	SH-25X028			
32	32		32		32		SH-10X032 *	SH-19X032 *	SH-25X032			
35	35	1	33,7	25			SH-10X035 *	SH-19X035 *	SH-25X035			
40	40		40		40		SH-10X040 *	SH-19X040		SH-30X040		
42	42	1 1/4	42,4	32			SH-10X042 *	SH-19X042 *		SH-30X042		
48		1 1/2	48,3	40			SH-10X048 *	SH-19X048 *		SH-30X048		
50					50		SH-10X050 *	SH-19X050		SH-30X050		
54	54		54				SH-10X054 *	SH-19X054 *		SH-30X054		
60		2	60,3	50			SH-10X060 *			SH-30X060		
64	64		63,5		63	SH-09X064				SH-30X064		
76	76,1	2 1/2	76,1	65	75	SH-09X076				SH-30X076		
89	88,9	3	88,9	80	90	SH-09X089				SH-30X089		
102		3 1/2	101,6							SH-30X102		
110					110	SH-09X110				SH-30X110	SH-36X110	
114		4	114,3	100	125	SH-09X114				SH-30X114	SH-36X114	
125			125							SH-30X125	SH-36X125	
140		5	139,7	125						SH-30X140	SH-36X140	
160	159										SH-36X160	
168			168,3	150							SH-36X168	

\* también existe con coquillas autoadhesivas.

\* también existe con coquillas autoadhesivas

Fig. 51: Aislamiento

### 1.2.21. Dimensionado de las bombas

Su misión es hacer que el fluido circule por las tuberías compensando la caída de presión derivada de la fricción del fluido con los distintos elementos del circuito.

Atendiendo a las indicaciones del Código Técnico de la Edificación (CTE), las bombas en línea deben montarse en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.

Las tuberías conectadas a la bomba se soportarán en las inmediaciones de ésta, de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos de torsión o flexión. El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.

Como ya se ha comentado cuando se ha hablado de la desviación de los excedentes de energía a la piscina es necesario instalar una bomba. Además de dicha bomba también hay que instalar dos bombas más: una para el bombeo del fluido caloportador en el circuito primario para



llevarlo de los colectores a los acumuladores y viceversa, y otra bomba más al final del circuito secundario para el retorno a los acumuladores, por cada edificio. Esta última y la de la piscina serán iguales puesto que el salto que deben superar es el mismo. En la piscina también habrá una bomba en la depuradora pero no se va a dimensionar porque no es objeto de este proyecto.

Para la selección de las bombas, en el apartado de *cálculos* se especifica que la bomba de recirculación del circuito primario tiene que tener una potencia de 14,19W y la del secundario y la piscina de 15,77W y tiene que superar una altura de aproximadamente 9m, en este caso se ha seleccionado al fabricante Wilo Ibérica S.A., el cual a partir del salto que se quiere superar (teniendo en cuenta las pérdidas de carga) y del caudal que tiene la instalación recomienda un tipo de bomba determinado.

Para esta instalación las bombas de retorno de la piscina y del circuito secundario se van a utilizar el modelo STRATOS-Z DN 50 1-9 con las siguientes características:

- Rango de temperatura permitido:
  - Con temperatura ambiente máx. +40: -10 °C a +110°C
  - Para aplicación en sistemas de recirculación de ACS con una temperatura ambiente máx. de +40 °C: 0 °C a +80°C
- Alimentación eléctrica 1~230 V, 50/60 Hz
- Tipo de protección: IP X4D
- Diámetro nominal de la brida: DN 50
- Presión de trabajo máx.: 6/10 bar
- Potencia: 25 - 490 W
- Altura de impulsión máxima: 10m

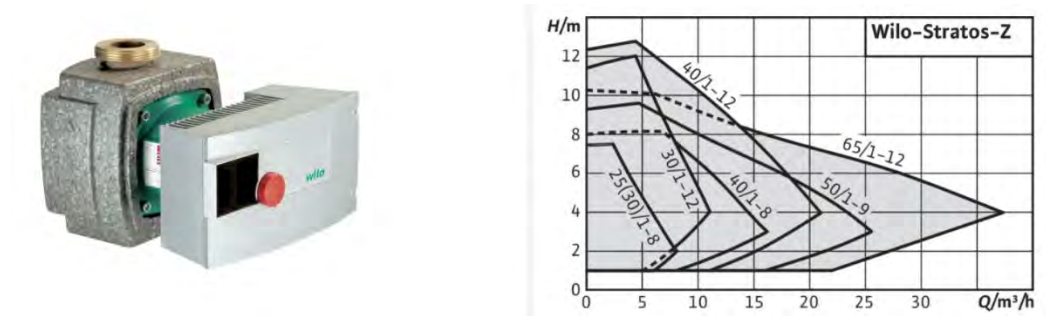


Fig. 52a: Curva de la bomba.

Para el circuito primario, la bomba es del mismo fabricante Wilo Ibérica S.A. Al no tener que vencer apenas altura, el modelo seleccionado es STAR-Z 15 TT, de características:

- Rango de temperaturas permitido:
  - Para aplicación en sistemas de recirculación de ACS con una temperatura ambiente máx. de +40 °C: +2°C a +65°C
  - Para aplicación en sistemas de recirculación de ACS a una temperatura ambiente máx. de +40 °C en servicio de corta operación 2 h [°C] T: +70°C
- Alimentación eléctrica : 1~230 V, 50 Hz
- Tipo de protección: IP 42
- Diámetro nominal: DN 50
- Presión de trabajo máx: 10bar
- Potencia: max. 22 W



Fig. 52b: Curva de la bomba.

### 1.2.22. Regulación y válvulas

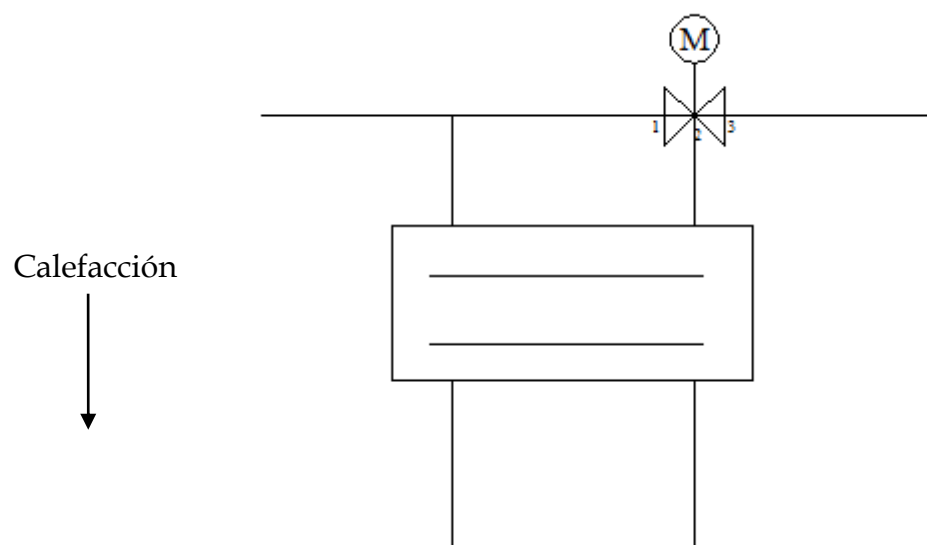
Las válvulas son elementos encargados de regular el paso de los fluidos por las tuberías. En la instalación diseñada se consideran las siguientes:

- Válvulas de corte: utilizadas en el campo de colectores para poder independizar las agrupaciones de baterías facilitando la realización de operaciones de mantenimiento. Así como en los intercambiadores.
- Válvulas de regulación: utilizadas para regular el caudal de circulación del fluido de los distintos ramales, circuitos, etc.
- Válvulas de retención o antirretorno: utilizadas para evitar los flujos inversos no deseados que se producen, cuando las configuraciones de los circuitos lo permiten, entre acumulador y captadores. En caso de no tomar precauciones adecuadas puede haber pérdidas térmicas significativas producidas por un efecto termosifón del agua caliente acumulada debido a la capacidad de enfriamiento nocturno de los captadores.
- Válvulas de seguridad: utilizadas en las agrupaciones de colectores y en los tanques de acumulación, donde las condiciones de estancamiento puedan producir vapor.

En este apartado se explica la regulación electrónica necesaria para el funcionamiento de las válvulas motorizadas presentes en la instalación. Dicho sistema tiene como base el concepto de favorecer el uso prioritario de la energía solar con respecto a la fuente auxiliar y nunca al contrario. La regulación para la piscina ya se ha planteado en el apartado correspondiente a evitar el sobrecalentamiento.

Igualmente se ha descrito la necesidad de instalar una válvula en el circuito de desviación de excedentes a la piscina, pero ya que uno de los objetivos principales de este proyecto es cubrir las necesidades de calefacción, y esta no se conecta durante varios meses al año, es necesario

programar una regulación. El sistema utilizado para la calefacción será exactamente igual que el de la piscina y se colocará antes de esta.



*Fig. 53. Sección del circuito primario donde se aprecia la válvula motorizada de desviación hacia la calefacción.*

El intercambiador de calor que se aprecia en la figura es el mismo que para la piscina, que como ya se ha comentado se explicará en la sección de *cálculos*. Para la calefacción en las viviendas se distribuye por suelo radiante.

La regulación para la calefacción solo tiene que establecer la posición de la válvula si la calefacción se conecta o si sigue hacia el circuito secundario si no se conecta.

Posición 1-3	Si la caldera está apagada o la temperatura en la parte superior del acumulador es menor que 45 °C
Posición 2 - 3	Si la caldera está encendida y la temperatura en la parte superior del acumulador es mayor que 45 °C

*Fig. 54. Opción de la regulación indicando la posición de la válvula.*

Debido a la estratificación del calor en los acumuladores, la temperatura que se tiene en cuenta es la que se marque en la en la parte superior del acumulador.

Por último hará falta una regulación para la bomba del circuito primario para que se establezca o no circulación de fluido, en función de que el momento sea o no favorable para conseguir un incremento neto de energía útil acumulada.

Encendida	Si la temperatura de los colectores es mayor que la del acumulador a la entrada del serpentín más de 6 °C
Apagada	Si la temperatura de los colectores es menor que la del acumulador a la entrada del serpentín más de 4 °C o la temperatura del acumulador a la entrada del serpentín es mayor que 85 °C o a en la parte superior es mayor que 90 °C

*Fig. 55. Opción de la regulación indicando el funcionamiento de la bomba.*

### 1.2.23. Vaso de expansión

El vaso de expansión es un dispositivo capaz de absorber las variaciones de volumen del agua de un circuito de calefacción en función de la temperatura. El agua se dilata cuando se calienta, creando un aumento de presión en el circuito de calefacción. El vaso de expansión permite absorber este exceso de presión para evitar un deterioro del circuito y lo mantiene estanco, contrariamente a una válvula de seguridad que alivia el circuito dejando escapar el fluido con sobrepresión. Su función es absorber las dilataciones del fluido caloportador en caso de aumentar de temperatura en el circuito primario. Su capacidad depende, sobre todo, del volumen de fluido que circula por el circuito. El volumen de dilatación será, como mínimo, igual al 4,3 % del volumen total de fluido en el circuito primario.

Según el CTE los vasos de expansión han de conectarse preferentemente en la aspiración de la bomba y deben estar dimensionados de forma que, incluso después de una interrupción del suministro a la bomba de circulación del circuito de colectores, justo cuando la radiación solar sea máxima, se pueda restablecer la operación automáticamente cuando la potencia esté disponible de nuevo.

Los vasos de expansión pueden ser de dos tipos:

- *Vaso de expansión abierto*: El vaso de expansión abierto es un recipiente que debe de estar colocado en la parte más alta de la instalación para recoger el agua sobrante de la expansión y devolverla cuando se enfría el calo portador. Es importante que el agua contenida en este depósito tenga el menor contacto posible con el aire, puesto que si se oxigena produciría oxidación de los componentes de la instalación al reintroducirse (es muy importante no renovar nunca o casi nunca el agua contenida en una instalación de calefacción). El vaso de expansión abierto debe tener, a menudo, algún dispositivo que evite que el agua contenida se hiele (sistema de recirculación), lo que puede ocurrir porque debe estar situado en la parte superior por encima de la zona calefactada.
- *Vaso de expansión cerrado*: El vaso de expansión cerrado está formado por dos zonas: una en contacto con el circuito primario de calefacción y por tanto llena de agua y una segunda zona llena de aire o gas nitrógeno en su caso. Estas zonas están separadas por una membrana impermeable. Cuando el agua se expande, aumentando de volumen, la membrana cede comprimiendo el aire y logrando una presión de funcionamiento estable. Este tipo de vaso produce una sobrepresión en el circuito, cuestión que debe de estar prevista para que no dañe sus componentes. Su ventaja es que puede estar en el mismo local que las calderas y por lo tanto al abrigo de las heladas.

En la instalación de este proyecto se opta por la utilización de vasos de expansión cerrados en el circuito de colectores

El cálculo del volumen del vaso de expansión se expondrá como en otros casos en el apartado de *cálculos*. El vaso de expansión será igual para los cuatro edificios. Deberá tener un volumen de 3,061 litros, ante la dificultad de encontrar un vaso que se ajuste más, se ha optado para este proyecto se ha seleccionado la marca SALVADOR ESCODA S.A. y dentro de su gama de productos el modelo 5 AMR-B cuyas características técnicas son:

- Tipo: 5 AMR - B
- Capacidad: 5 litros.
- Presión máx. trabajo: 10 bar.
- Dimensiones aproximadas (diámetro x altura): 200 x 245 mm.
- Conexión de agua Ø: 3/4".
- Presión precarga: 3 bar.



*Fig. 56. Vaso de expansión 5 AMR-B.*

#### **1.2.24. Intercambiadores de calor**

Para la instalación de este proyecto es necesario colocar dos intercambiadores de calor, uno para el sistema de A.C.S. y otro para la piscina.

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor de un fluido a otro, sea que estos estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto. Son parte esencial de los dispositivos de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico.

Los intercambiadores de calor se caracterizan fundamentalmente por los siguientes aspectos:

1. Permiten utilizar una mezcla de agua con anticongelante como fluido caloportador en el circuito primario, que actúa como sistema de protección frente a heladas en la instalación.
2. Evitan el contacto directo del agua sanitaria de consumo con los colectores solares, con lo que se eliminan las incrustaciones calcáreas en los mismos y disminuye el riesgo de corrosión en el circuito primario.
3. La instalación puede funcionar con presiones de trabajo distintas en cada uno de los circuitos.

#### **1.2.24.1. Transmisión de calor por conducción**

Este tipo de transmisión se da entre medios materiales cuando existen zonas a diferentes temperaturas. El proceso se inicia cuando las moléculas absorben energía térmica, por lo que comienzan a vibrar alrededor de sus posiciones medias, lo que conlleva un aumento en la amplitud de vibración creando finalmente un aumento en su energía cinética. El único caso que no se puede dar transmisión por conducción es en el vacío, se puede dar en cualquier estado de agregación de la materia

Una de las teorías más aceptadas establece que la transferencia de calor por conducción es debida, además de la transmisión de las vibraciones entre moléculas adyacentes, por el movimiento de los electrones libres, que transportan energía. Esta teoría concuerda con el hecho de que los



materiales que son buenos conductores de calor, normalmente son buenos conductores eléctricos.

#### **1.2.24.2. Transmisión de calor por convección**

Es el intercambio de calor que ocurre en el caso de que fluido circula en contacto con un sólido. Se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas, por ejemplo por el interior de una tubería. Dependiendo de si el movimiento del fluido es natural o forzado artificialmente, se distinguen dos tipos: convección libre (también llamada natural) y convección forzada. La convección forzada implica el uso de algún medio mecánico, como una bomba o un ventilador, para provocar el movimiento del fluido. Ambos mecanismos pueden producir un movimiento laminar o turbulento del fluido.

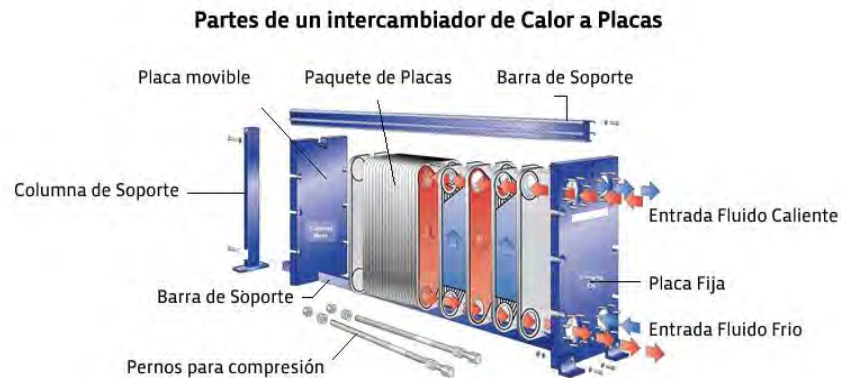
#### **1.2.24.3. Tipos de intercambiadores de calor**

Desde el punto de vista constructivo se puede hacer la siguiente clasificación:

- De placas: formados por un conjunto de placas de metal corrugadas (acero inoxidable, titanio, etc.) contenidas en un bastidor. El sellado de las placas se realiza mediante juntas o bien pueden estar soldadas.
- De haz tubular: formados por un haz de tubos corrugados o no, realizado en diversos materiales. El haz de tubos se ubica dentro de una carcasa para permitir el intercambio con el fluido a calentar o enfriar.
- Tubo aleteado: se compone de un tubo o haz de tubos a los que se sueldan aletas de diferentes tamaños y grosores para permitir el intercambio entre fluidos y gases. P. ej., radiador de un vehículo.
- Superficie rascada: muy similar al tubular, con la particularidad de ubicar dentro del tubo un dispositivo mecánico helicoidal/circular

o lineal que permite el paso del fluido que, por sus características, impide un trasiego normal con los medios de bombeo habituales.

#### 1.2.24.4. Componentes de un intercambiador de calor de placas



*Fig. 57. Sección de un intercambiador de calor de placas.*

Los principales componentes de los intercambiadores de calor de placas son el bastidor y las placas:

Bastidor: Los componentes del bastidor son de acero al carbono, a excepción de los que se encuentran en contacto directo con los fluidos, como las conexiones de entrada y salida que se encuentra en las esquinas del bastidor. Su función fundamental es la de mantener la pila de placas unidas, además de proporcionar un buen sellado y formar una estructura rígida mediante las barras y columnas de soporte.

Placas: Están construidas con materiales de baja resistencia térmica para conseguir un mejor intercambio de calor. Se fabrican prensando láminas de entre 0.5 mm y 0.9 mm de gran variedad de aleaciones y metales, resistentes a la corrosión. Para favorecer el flujo turbulento y aumentar de ese modo la superficie de transferencia de calor, las placas presentan un relieve corrugado.

En la instalación que contempla este proyecto se van a utilizar los intercambiadores del tipo de placas.

#### **1.2.24.5. Ventajas y limitaciones en intercambiadores de calor de placas**

Ventajas:

- Permiten la aplicación de flujos en contracorriente en la mayoría de las aplicaciones.
- Menor área de transferencia. Esta característica es especialmente ventajosa si la naturaleza del líquido es corrosiva y se requiere trabajar con materiales de construcción muy caros.
- La simetría de la configuración para ambos elimina la necesidad de decidir cuál de los fluidos pasará por tubos y cuál por carcasa, dado que los lados de la placa son equivalentes.
- Adaptabilidad y diseño modular. En los intercambiadores de placas tipo junta, la capacidad puede aumentarse o disminuirse con sólo poner o quitar placas.
- Tamaño compacto. El peso y el volumen de la instalación son bajos.
- Mayor coeficiente global de transferencia de calor que los intercambiadores de tipo carcasa-tubo.
- Bajo coste de operación, por combinar elevados coeficientes de transferencia y menor acumulación de la suciedad.
- Control de la temperatura. La forma de los canales por los que circulan los fluidos reduce la posibilidad de zonas de retención o estancamiento y sobrecalentamientos locales.
- Flexibilidad. Pueden adaptarse y ser utilizados para una diversa gama de fluidos y condiciones, incluyendo fluidos viscosos.
- Fácil desmontaje. En los intercambiadores de placas tipo junta, las operaciones de mantenimiento y limpieza se efectúan de manera más fácil y rápida.
- Poca acumulación de suciedad, lo que implica menor necesidad de limpieza, y menores resistencias de ensuciamiento que provocan coeficientes de transferencia globales más pequeños.
- Tamaño compacto. El peso y el volumen de la instalación son bajos.

### Limitaciones:

- Los intercambiadores de placas no funcionan correctamente con líquidos que al solidificarse aumentan mucho de tamaño, debido a la pequeña distancia de separación entre las placas.
- La caída de presión a través de un intercambiador de placas es relativamente grande debido a los estrechos canales entre placas.
- No son convenientes para el uso con líquidos tóxicos o altamente inflamables debido a la posibilidad de rotura de las juntas. Los termo-soldados no presentan este problema y pueden utilizarse para este tipo de líquidos siempre y cuando el material sea el adecuado.
- Los materiales de las juntas son de varios tipos de elastómeros que tienen un límite máximo de temperatura de funcionamiento
- La chapa de metal no es un elemento adecuado para soportar presiones elevadas. Los intercambiadores de placas tipo juntas soportan presiones máximas de 10 a 15 bar. Los intercambiadores termo-soldados que pueden llegar a soportar presiones que rondan los 30 bar.

Es necesario que tenga una potencia de 9,28 kW que se justificará en el apartado de *cálculos*.

El intercambiador escogido es de la marca Euro Cobil, el modelo CBH16-17H cuyas características técnicas son:

- Caudal máximo: 0,9 m<sup>3</sup>/h.
- Diámetro de conexión: ¾".
- Área de trabajo: 5 kW a 40 kW.
- Dimensiones (ancho x alto): 74mm x210 mm.



*Fig. 58. Intercambiador CBH16-17H*

### 1.2.25. Estudio económico

En el estudio económico se va a hacer un estudio de la amortización económica de los 20 años siguientes a la realización de la obra. Para ello es necesario conocer unos datos de entrada:

- Precio de instalación: 90524,96 €.
- Consumo anual de combustible (gas natural): 350400 kWh.

Calculado en base al consumo por hogar y número de personas que lo ocupan.

Nº de personas en el hogar	Consumo medio de electricidad	Consumo medio de gas
1	1050 kWh	2000 kWh
2	2100 kWh	4000 kWh
3	2800 kWh	5350 kWh
4	3300 kWh	6350 kWh
5	3900 kWh	7450 kWh

*Fig. 59. Tabla de consumo.*

Para este proyecto por edificio son 14 viviendas de tres personas, ( $14 \times 5350 = 74900$  kWh) y 2 duplex con cuatro habitantes ( $2 \times 6350 = 12700$  kWh). Lo que hace un consumo por edificio de 87600 kWh. Por lo que el consumo total en los cuatro edificios es 350400 kWh.

- Precio combustible: 0,050394 €/kWh.

Obtenido del BOE

- Evolución precio de combustible: 6,12 %/año.

Dato de la Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos (CORES).

- Evolución IPC: 3,20 %/año.

Dato estimado, basado en datos del INE.

- Apoyo ACS: 70%/año.

Con estos datos se obtienen los siguientes resultados:

AÑO	CONSUMO ANUAL (kWh)	AHORRO ANUAL DE COMBUSTIBLE (kWh)	PRECIO COMBUSTIBLE (€/kWh)	MANTENIMIENTO (€)	AHORRO ANUAL (€)	AHORRO ACUMULADO (€)	VAN	TIR
1	350.400,00	245.280,00	0,05	623,86	11.738,01	11.738,01	-76.824,11 €	-
2	350.400,00	245.280,00	0,05	642,58	12.475,84	24.213,84	-65.064,44 €	-
3	350.400,00	245.280,00	0,06	661,85	13.259,41	37.473,25	-52.566,18 €	-
4	350.400,00	245.280,00	0,06	681,71	14.091,53	51.564,78	-39.283,56 €	-
5	350.400,00	245.280,00	0,06	702,16	14.975,20	66.539,99	-25.167,99 €	-
6	350.400,00	245.280,00	0,07	723,22	15.913,59	82.453,58	-10.167,90 €	-
7	350.400,00	245.280,00	0,07	744,92	16.910,07	99.363,65	5.771,46 €	2%
8	350.400,00	245.280,00	0,08	767,27	17.968,21	117.331,86	22.708,22 €	6%
9	350.400,00	245.280,00	0,08	790,29	19.091,80	136.423,66	40.704,07 €	8%
10	350.400,00	245.280,00	0,09	814,00	20.284,88	156.708,53	59.824,51 €	10%
11	350.400,00	245.280,00	0,09	838,42	21.551,71	178.260,24	80.139,06 €	12%
12	350.400,00	245.280,00	0,10	863,57	22.896,83	201.157,07	101.721,52 €	13%
13	350.400,00	245.280,00	0,10	889,48	24.325,06	225.482,13	124.650,22 €	14%
14	350.400,00	245.280,00	0,11	916,16	25.841,50	251.323,63	149.008,32 €	15%
15	350.400,00	245.280,00	0,12	943,64	27.451,59	278.775,22	174.884,07 €	16%
16	350.400,00	245.280,00	0,12	971,95	29.161,07	307.936,29	202.371,18 €	16%
17	350.400,00	245.280,00	0,13	1.001,11	30.976,05	338.912,34	231.569,07 €	17%
18	350.400,00	245.280,00	0,14	1.031,15	32.903,02	371.815,36	262.583,33 €	17%
19	350.400,00	245.280,00	0,15	1.062,08	34.948,86	406.764,21	295.525,97 €	17%
20	350.400,00	245.280,00	0,16	1.093,94	37.120,86	443.885,08	330.515,95 €	17%
21	350.400,00	245.280,00	0,17	1.126,76	39.426,79	483.311,87	367.679,48 €	18%

Fig. 60. Tabla de amortización.

Como se aprecia en la tabla la instalación se amortiza hasta pasados 18 años del montaje, pero a partir de ese momento el beneficio es muy alto en poco tiempo.

### 1.2.27. Plazo de ejecución

El plazo de ejecución estimado para la realización de la obra de esta instalación, incluyendo todos los elementos del área de colectores, del sistema de calefacción y de piscina, y el sistema de tuberías tanto del

circuito primario como del secundario, se ha estimado que no debe superar los 21 días.

### 1.2.28. Resumen de presupuesto

A continuación se expone un resumen del presupuesto que será necesario para la realización total de la obra.

<b>CAPITULO</b>	<b>EUROS</b>	<b>%</b>
CAPTACIÓN	17664	28,32
INTER	1793,2	2,88
ALMACENAMIENT	5272	8,45
REGULACIÓN	844	1,35
RECIRCULACIÓN	27675,6	44,36
CONDUCCIONES	7538, 69	12,08
VARIOS	<u>1599,08</u>	2,56
<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>62386,57</b>	
13,00% Gastos generales.....	8118,25	
6,00% Beneficio industrial.....	3743,19	
1% Coste de mantenimiento.....	<u>623,86</u>	
	<b>SUMA DE G.G. y B.I.</b>	<b>74871,87</b>
21,00% I.V.A. ....	<u>15723,09</u>	
<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA</b>	<b><u>90524,96</u></b>	
<b>TOTAL PRESUPUESTO GENERAL</b>	<b>90524,96</b>	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de NOVENTA MIL QUINIENTOS VEINTICUATRO EUROS con NOVENTAY SEIS CÉNTIMOS.

# ANEXO I

## Cálculos y resultados



## ❖ Cálculo de exposiciones solares

### Cálculo de la exposición directa y global mensual inclinada-orientada

Para calcular la exposición directa mensual es necesario realizar una serie de cálculos previos.

#### 1. Exposición media mensual horizontal terrestre

Depende de la zona geográfica dicha exposición varía, además obviamente debe de ser menor que la exposición media mensual horizontal extraterrestre. Para la zona de Alicante es:

	$H_G^m$ (J/m <sup>2</sup> -dia)	$H_0$ (J/m <sup>2</sup> -dia)
Enero	9,72E+06	1,49E+07
Febrero	1,33E+07	2,93E+07
Marzo	1,69E+07	2,70E+07
Abril	2,20E+07	3,42E+07
Mayo	2,70E+07	3,93E+07
Junio	2,81E+07	4,14E+07
Julio	2,84E+07	4,03E+07
Agosto	2,38E+07	3,61E+07
Septiembre	1,91E+07	2,95E+07
Octubre	1,37E+07	2,21E+07
Noviembre	9,72E+06	1,61E+07
Diciembre	7,92E+06	1,34E+07

*Fig 1: Tabla de exposiciones medias mensuales*

$H_G^m$ : Exposición media mensual horizontal terrestre

$H_0$ : Exposición media mensual horizontal extraterrestre

#### 2. Cálculos geométricos

- Declinación solar,  $d(^{\circ}$ -rad):

Es el ángulo entre la línea Sol-Tierra y el plano ecuatorial celeste, calculado con la siguiente fórmula:

**Eq. 1:**

$$d = 23,45 * \sin\left(360 * \frac{284+N}{365,25}\right)$$

- Ángulo horario de salida-puesta de sol,  $W_s$  (°-rad):

Eq. 2:

$$W_s = \arccos(-\tan(d/\text{Latitud}))$$

- Duración del día (horas):

Eq. 3:

$$\text{Duración del día: } 2 \cdot W_s / 15$$

- Hora solar,  $j$  (h): Secuencia de hora en hora empezando desde 1/2 hasta 7 y 1/2
- Ángulo horario solar,  $W_j$  (rad):

$$\text{Si } \frac{\text{Duración del día}}{2} > j - 0,5 \text{ entonces } W_j = 15 \cdot j \cdot (\pi / 180)$$

$$\text{Si } \frac{\text{Duración del día}}{2} < j - 0,5 \text{ entonces } W_j = 0$$

### 3. Exposiciones diarias horizontales

Ahora que se conocen la exposición mensual horizontal hay que obtener como se reparten diariamente. Dichos valores se calculan mediante los coeficientes de transmisión.

- Coeficiente de transmisión total atmosférica,  $K_T$ :

Es el cociente entre la exposición global horizontal terrestre diaria media mensual y la exposición global horizontal extraterrestre diaria media mensual

Eq. 4:

$$K_T = H_m^G / H_0$$

- Coeficiente de transmisión de radiación difusa,  $K_D$ :

Se calcula a partir del coeficiente de transmisión total atmosférica, con la siguiente fórmula.

Eq. 5:

$$K_D = 1,39 - 4,03 \cdot K_T + 5,53 \cdot K_T^2 - 3,11 \cdot K_T^3$$

- Exposición difusa diaria horizontal,  $H_m^D$ :

Es el producto entre la exposición global horizontal terrestre diaria media mensual y el coeficiente de transmisión de radiación difusa

**Eq. 6:**

$$H_m^D = H_m^G \cdot K_D$$

- Exposición directa diaria horizontal,  $H_m^B$ :

Es la diferencia entre la exposición global horizontal terrestre diaria media mensual y la exposición difusa diaria horizontal

**Eq. 7:**

$$H_m^B = H_m^G - H_m^D$$

- Altura solar real a mitad del intervalo horario,  $h(^{\circ})$ :

Se calcula a partir de la latitud (L), la declinación (d), y el ángulo horario solar a mitad del intervalo horario (Wj), con la siguiente fórmula, mientras haya radiación.

**Eq. 8:**

$$h = \arcsin(\sin(L) \cdot \sin(d) + \cos(L) \cdot \cos(Wj) \cdot \cos(d))$$

- Coseno ángulo de incidencia panel orientado e inclinado,  $\cos(\theta_{b,g})$ :

Se calcula a partir de la latitud (L), la declinación (d), el ángulo horario solar a mitad del intervalo horario (Wj), la inclinación del colector ( $\beta$ ) y la orientación del colector (g), con la siguiente fórmula en valor absoluto, mientras haya radiación.

**Eq. 9:**

$$\theta_{b,g} = (\text{sen}(d) * \text{sen}(L) * \cos(\beta)) - (\text{sen}(d) * \cos(L) * \text{sen}(\beta) * \cos(g)) + (\cos(d) * \cos(L) * \cos(\beta) - \cos(W_j)) + (\cos(d) * \text{sen}(L) * \text{sen}(\beta) * \cos(W_j) * \cos(g)) + (\cos(d) * \text{sen}(\beta) * \text{sen}(g) * \text{sen}(W_j))$$

#### 4. Exposiciones horarias horizontales

Una vez calculadas las exposiciones diarias horizontales hay que pasarlas a exposiciones horarias puesto que el ángulo horario del Sol va variando. Para eso es necesario calcular los coeficientes de distribución globales.

- Coeficiente de distribución global horaria de radiación global  $r_{Gh}$ :

Cuya fórmula es:

**Eq. 10:**

$$r_{Gh} = \frac{\pi}{24} * ((0.41 + 0.5 * \text{sen}(W_s - \frac{\pi}{3}) + 0.66 + 0.48 * \text{sen}(W_s - \frac{\pi}{3}) * \cos W_j) * \frac{(\cos W_j - \cos W_s)}{(\text{sen} W_s - W_s * \cos W_s)})$$

Siendo:  $W_s$ , Ángulo horario de salida-puesta del sol ( $^{\circ}$ -rad).

$W_j$ , Ángulo horario solar ( $^{\circ}$ -rad).

- Coeficiente de distribución global horaria de radiación difusa,

$r_{Dh}$ :

**Eq. 11:**

$$r_{Dh} = \frac{\pi}{24} * \frac{(\cos W_j - \cos W_s)}{(\text{sen} W_s - W_s * \cos W_s)}$$

Siendo:  $W_s$ , Ángulo horario de salida-puesta del sol ( $^{\circ}$ -rad).

$W_j$ , Ángulo horario solar ( $^{\circ}$ -rad).

- Exposición horaria global,  $H_h^G$  (julios/hora-m<sup>2</sup>):

**Eq. 12:**

$$H_h^G = H_m^G * r_{Gh}$$

Siendo:  $H_m^G$ , Exposición media mensual horizontal terrestre.

$r_{Gh}$ , Coeficiente de distribución global horaria de radiación global.

- Exposición horaria difusa,  $H_h^D$  (julios/hora-m<sup>2</sup>):

**Eq. 13:**

$$H_h^D = H_m^D * r_{Dh}$$

Siendo:  $H_m^D$ , Exposición difusa diaria horizontal.

$r_{Dh}$ , Coeficiente de distribución global horaria de radiación difusa.

- Exposición horaria directa,  $H_h^B$  (julios/hora-m<sup>2</sup>):

**Eq. 14:**

$$H_h^B = H_h^G - H_h^D$$

Siendo:  $H_h^G$ , Exposición horaria global.

$H_h^D$ , Exposición horaria difusa.

## 5. Exposiciones horarias inclinadas-orientadas

Lo siguiente que hay que hallar es, para esas exposiciones horarias horizontales, su equivalente inclinadas-orientadas y es necesario calcular unos factores de conversión.

- Factor de conversión de radiación directa,  $F^B(b,g)$ :

**Eq. 15:**

$$F^B(b,g) = \cos\theta / \cos(\theta+\beta)$$

Siendo:  $\theta$ : Ángulo de incidencia de la radiación solar.

$\beta$ : Ángulo de inclinación del panel solar.

- Factor de forma de radiación difusa,  $F^D(b)$ :

**Eq.16:**

$$F^D(b) = (1 + \cos \beta)/2$$

Siendo:  $\beta$ : Ángulo de inclinación del panel solar.

- Factor de forma radiación reflejada,  $F^R(b)$ :

**Eq.17:**

$$F^R(b) = r * (1 - \cos \beta)/2$$

Siendo:  $\beta$ : Ángulo de inclinación del panel solar.

$r$ : Coeficiente medio de reflexión del suelo

En la práctica, y no existiendo alrededor de la superficie inclinada elementos tales como agua y nieve, se obtienen aproximaciones satisfactorias con valores de  $r$  del orden de 0.2 a 0.3.

- Exposición horaria directa inclinada-orientada,  $H_h^B(b,g)$  (julios/hora- $m^2$ ):

**Eq. 18:**

$$H_h^B(b,g) = F^B(b,g) * H_h^B$$

Siendo:  $F^B(b,g)$ , Factor de conversión de radiación directa.

$H_h^B$ , Exposición horaria directa.

- Exposición horaria difusa inclinada-orientada,  $H_h^D(b,g)$  (julios/hora- $m^2$ ):

**Eq. 19:**

$$H_h^D(b,g) = F^D(b) * H_h^D$$

Siendo:  $F^D(b)$ , Factor de forma de radiación difusa.

$H_h^D$ , Exposición horaria difusa.

- Exposición horaria reflejada inclinada-orientada,  $H_h^R(b,g)$  (julios/hora-m<sup>2</sup>):

**Eq. 20:**

$$H_h^R(b,g) = F^R(b) * (H_h^B + H_h^D)$$

Siendo:  $F^R(b,g)$ , Factor de forma radiación reflejada.

$H_h^B$ , Exposición horaria directa.

$H_h^D$ , Exposición horaria difusa.

- Exposición horaria global inclinada-orientada,  $H_h^G(b,g)$  (julios/hora-m<sup>2</sup>):

**Eq. 21:**

$$H_h^G(b,g) = H_h^R(b,g) + H_h^D(b,g) + H_h^B(b,g)$$

Siendo:  $H_h^R(b,g)$ , Exposición horaria reflejada inclinada-orientada.

$H_h^B(b,g)$ , Exposición horaria directa inclinada-orientada.

$H_h^D(b,g)$ , Exposición horaria difusa inclinada-orientada.

## 6. Exposición directa y global mensual inclinada-orientada

Una vez realizados los cálculos anteriores ya se puede obtener la exposición directa mensual inclinada-orientada y la exposición global mensual inclinada-orientada.

- Exposición global diaria inclinada-orientada,  $H_m^G(b,g)$  (julios/día-m<sup>2</sup>):

**Eq. 22:**

$$H_m^G(b,g) = 2 * \sum H_h^G(b,g)$$

Siendo:  $H_h^G(b,g)$ , Exposición horaria global inclinada-orientada.

- Exposición directa diaria inclinada-orientada,  $H_m^B(b,g)$  (julios/día-m<sup>2</sup>):

**Eq. 23:**

$$H_m^B(b,g) = 2 * \sum H_h^B(b,g)$$

Siendo:  $H_h^B(b,g)$ , Exposición horaria directa inclinada-orientada.

- Exposición global mensual inclinada-orientada,  $H_m^G(b,g)$  (julios/mes-m<sup>2</sup>):

**Eq. 24:**

$$H_m^G(b,g) = H_m^G(b,g) * N$$

Siendo:  $H_m^G(b,g)$ , Exposición global diaria inclinada-orientada.

N, Día medio del mes (se define más adelante).

- Exposición directa mensual inclinada-orientada,  $H_m^B(b,g)$  (julios/mes-m<sup>2</sup>):

**Eq. 25:**

$$H_m^B(b,g) = H_m^B(b,g) * N$$

Siendo:  $H_m^B(b,g)$ , Exposición directa diaria inclinada-orientada.

N, Día medio del mes (se define más adelante).

- Irradiación directa media diaria (W/m<sup>2</sup>):

**Eq. 26:**

$$\text{Irradiación directa media diaria} = \frac{H_m^B(b,g)}{\text{Duración del día}/3600}$$



- Irradiación global media diaria ( $W/m^2$ ):

Eq. 27:

$$\text{Irradiación global media diaria} = \frac{H_m^G(b,g)}{\text{Duración del día}/3600}$$

## 7. Datos de partida necesarios

- Latitud del emplazamiento:

$$d = 38,83^\circ \text{ o } 0,678 \text{ rad}$$

- Día medio del mes, N (a contar desde el 1 de enero).

Se calcula sumando a la mitad de los días del mes actual la suma acumulada del día medio del mes anterior y la mitad de los días del mes anterior.

Mes	Día medio del mes (N)
Enero	15,5
Febrero	45,13
Marzo	74,75
Abril	105,3
Mayo	135,8
Junio	166,3
Julio	196,8
Agosto	227,8
Septiembre	258,25
Octubre	228,8
Noviembre	319,25
Diciembre	349,75

Fig 2: Tabla de día medio del mes.

En la ciudad de Denia para el mes de Enero se obtienen los siguientes resultados:

DATOS		
Latitud, L (°-rad)	38,83	0,678
Día medio del mes, N (a contar desde el 1 de enero)	15,5	
Exposición global horizontal terrestre diaria media mensual, $H_m^G$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	9,72E+06	
Exposición global horizontal extraterrestre diaria media mensual, $H_o$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	1,49E+07	
Inclinación del colector, b (°-rad)	39,0	0,681
Orientación del colector, g (°)	0,0	0,000

CALCULOS								
Geométricos								
Declinación, d (°-rad)	-21,219	-0,370						
Angulo horario de salida-puesta del sol, $W_s$ (°-rad)	71,8	1,253						
Duración del día (horas)	9,6							
Hora solar, j (h)	<b>1/2</b>	<b>1 1/2</b>	<b>2 1/2</b>	<b>3 1/2</b>	<b>4 1/2</b>	<b>5 1/2</b>	<b>6 1/2</b>	<b>7 1/2</b>
Angulo horario solar, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	0,000	0,000	0,000
Angulo horario real a mitad intervalo horario, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,150	0,000	0,000	0,000
¿Radiación solar? (1=si; 0=no)	1	1	1	1	1	0	0	0

Exposiciones diarias horizontales, (Julios/día-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente de transmisión total atmosférica, $k_T$	0,652							
Coefficiente de transmisión radiación difusa, $K_D$	0,251							
Exposición difusa diaria horizontal, $H_m^D$	2.439.711,980							
Exposición directa diaria horizontal, $H_m^B$	7.280.288,020							
Altura solar real a mitad intervalo horario, h (°)	29,54	26,36	20,44	12,42	3,99	0,00	0,00	0,00
Coseno ángulo de incidencia panel orientado e inclinado, $\cos(\theta_{b,g})$	0,925	0,862	0,741	0,569	0,382	0,000	0,000	0,000

<b>Exposiciones horarias horizontales (Julios/hora-m<sup>2</sup>)</b>								
Coefficiente distribución global horaria radiación global, $r_{gh}$	0,170	0,148	0,108	0,059	0,017	0,000	0,000	0,000
Coefficiente distribución global horaria radiación difusa, $r_{Dh}$	0,159	0,143	0,113	0,069	0,022	0,000	0,000	0,000
Exposición horaria global, $H_h^G$	1.655.671,4	1.437.865,1	1.050.296,2	576.881,9	162.081,9	0,0	0,0	0,0
Exposición horaria difusa, $H_h^D$	388.324,6	349.680,3	275.025,3	169.447,2	54.855,6	0,0	0,0	0,0
Exposición horaria directa, $H_h^B$	1.267.346,8	1.088.184,8	775.270,9	407.434,7	107.226,3	0,0	0,0	0,0

<b>Exposiciones horarias inclinadas-orientadas (Julios/hora-m<sup>2</sup>)</b>								
Factor conversión radiación directa, $F^B(b,g)$	1,877	1,942	2,121	2,643	5,482	0,000	0,000	0,000
Exposición horaria directa inclinada-orientada, $H_h^B(b,g)$	2.378.428,1	2.113.511,2	1.644.349,8	1.076.734,4	587.783,5	0,0	0,0	0,0
Factor de forma radiación difusa, $F^D(b)$	0,889							
Exposición horaria difusa inclinada-orientada, $H_h^D(b,g)$	345.054,8	310.716,5	244.380,1	150.566,2	48.743,2	0,0	0,0	0,0
Factor de forma radiación reflejada, $F^D(b)$	0,028							
Reflectividad superficie, $r$	0,250							
Exposición horaria reflejada inclinada-orientada, $H_h^R(b,g)$	46.121,6	40.054,3	29.257,8	16.070,1	4.515,1	0,0	0,0	0,0
Exposición horaria global inclinada-orientada, $H_h^G(b,g)$	2.769.604,5	2.464.281,9	1.917.987,7	1.243.370,6	641.041,8	0,0	0,0	0,0

<b>Exposición global diaria inclinada-orientada, <math>H_m^G(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>18.072.573</b>
<b>Exposición directa diaria inclinada-orientada, <math>H_m^B(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>15.601.614</b>
<b>Exposición global mensual inclinada-orientada, <math>H_mG(b,g)</math> (Julios/mes-m<sup>2</sup>)</b>	<b>560.249.761</b>
<b>Exposición directa mensual inclinada-orientada, <math>H_mB(b,g)</math> (Julios/mes-m<sup>2</sup>)</b>	<b>483.650.029</b>
<b>Irradiación directa media diaria (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>452,8</b>
<b>Irradiación global media diaria (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>524,5</b>

Fig. 3a: Tabla de exposiciones solares en el mes de Enero.

En la ciudad de Denia para el mes de Febrero se obtienen los siguientes resultados:

DATOS		
Latitud, L (°-rad)	38,83	0,678
Día medio del mes, N (a contar desde el 1 de enero)	45,125	
Exposición global horizontal terrestre diaria media mensual, HmG (Julios/m2-día)	1,33E+07	
Exposición global horizontal extraterrestre diaria media mensual, HO (Julios/m2-día)	2,93E+07	
Inclinación del colector, b (°-rad)	39,0	0,681
Orientación del colector, g (°)	0,0	0,000

CALCULOS								
Geométricos								
Declinación, d (°-rad)	-13,653	-0,238						
Angulo horario de salida-puesta del sol, Ws (°-rad)	78,7	1,374						
Duración del día (horas)	10,5							
Hora solar, j (h)	1/2	1 1/2	2 1/2	3 1/2	4 1/2	5 1/2	6 1/2	7 1/2
Angulo horario solar, Wj (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	0,000	0,000
Angulo horario real a mitad intervalo horario, Wj (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,342	0,000	0,000
¿Radiación solar? (1=si; 0=no)	1	1	1	1	1	1	0	0

Exposiciones diarias horizontales, (Julios/día-m2)								
Coefficiente de transmisión total atmosférica, kT	0,455							
Coefficiente de transmisión radiación difusa, KD	0,409							
Exposición difusa diaria horizontal, HmD	5.442.717,726							
Exposición directa diaria horizontal, HmB	7.877.282,274							
Altura solar real a mitad intervalo horario, h (°)	37,05	33,46	26,91	18,23	8,15	1,38	0,00	0,00

Coseno ángulo de incidencia panel orientado e inclinado, $\cos(\theta_{b,g})$	0,964	0,898	0,772	0,592	0,373	0,222	0,000	0,000
---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

<b>Exposiciones horarias horizontales (Julios/hora-m2)</b>								
Coefficiente distribución global horaria radiación global, $r_{Gh}$	0,157	0,139	0,107	0,067	0,026	0,004	0,000	0,000
Coefficiente distribución global horaria radiación difusa, $r_{Dh}$	0,146	0,134	0,110	0,076	0,034	0,006	0,000	0,000
Exposición horaria global, $H_hG$	2.092.280,6	1.853.473,5	1.424.287,0	889.660,6	350.335,1	53.335,0	0,0	0,0
Exposición horaria difusa, $H_hD$	796.360,3	728.759,3	598.164,0	413.474,5	187.276,9	31.793,7	0,0	0,0
Exposición horaria directa, $H_hB$	1.295.920,2	1.124.714,2	826.122,9	476.186,1	163.058,2	21.541,3	0,0	0,0

<b>Exposiciones horarias inclinadas-orientadas (Julios/hora-m2)</b>								
Factor conversión radiación directa, $FB(b,g)$	1,600	1,630	1,705	1,893	2,629	9,211	0,000	0,000
Exposición horaria directa inclinada-orientada, $H_hB(b,g)$	2.073.660,3	1.832.723,3	1.408.543,2	901.516,8	428.745,8	198.406,5	0,0	0,0
Factor de forma radiación difusa, $FD(b)$	0,889							
Exposición horaria difusa inclinada-orientada, $H_hD(b,g)$	707.624,3	647.555,8	531.512,4	367.402,3	166.409,2	28.251,0	0,0	0,0
Factor de forma radiación reflejada, $FD(b)$	0,028							
Reflectividad superficie, $r$	0,250							
Exposición horaria reflejada inclinada-orientada, $H_hR(b,g)$	58.284,1	51.631,8	39.676,0	24.783,1	9.759,2	1.485,7	0,0	0,0
Exposición horaria global inclinada-orientada, $H_hG(b,g)$	2.839.568,7	2.531.910,9	1.979.731,7	1.293.702,1	604.914,3	228.143,3	0,0	0,0

<b>Exposición global diaria inclinada-orientada, <math>H_mG(b,g)</math> (Julios/día-m2)</b>	<b>18.955.942</b>
<b>Exposición directa diaria inclinada-orientada, <math>H_mB(b,g)</math> (Julios/día-m2)</b>	<b>13.687.192</b>
<b>Exposición global mensual inclinada-orientada, <math>H_mG(b,g)</math> (Julios/mes-m2)</b>	<b>535.505.356</b>
<b>Exposición directa mensual inclinada-orientada, <math>H_mB(b,g)</math> (Julios/mes-m2)</b>	<b>386.663.173</b>
<b>Irradiación directa media diaria (W/m2)</b>	<b>362,2</b>
<b>Irradiación global media diaria (W/m2)</b>	<b>501,6</b>

Fig. 3b: Tabla de exposiciones solares en el mes de Febrero.

En la ciudad de Denia para el mes de Marzo se obtienen los siguientes resultados:

DATOS		
Latitud, L (°-rad)	38,83	0,678
Día medio del mes, N (a contar desde el 1 de enero)	74,75	
Exposición global horizontal terrestre diaria media mensual, $H_m^G$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	1,69E+07	
Exposición global horizontal extraterrestre diaria media mensual, $H_o$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	2,70E+07	
Inclinación del colector, b (°-rad)	39,0	0,681
Orientación del colector, g (°)	0,0	0,000

CALCULOS								
Geométricos								
Declinación, d (°-rad)	-2,617	-0,046						
Angulo horario de salida-puesta del sol, $W_s$ (°-rad)	87,9	1,534						
Duración del día (horas)	11,7							
Hora solar, j (h)	<b>1/2</b>	<b>1 1/2</b>	<b>2 1/2</b>	<b>3 1/2</b>	<b>4 1/2</b>	<b>5 1/2</b>	<b>6 1/2</b>	<b>7 1/2</b>
Angulo horario solar, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	0,000	0,000
Angulo horario real a mitad intervalo horario, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,422	0,000	0,000
¿Radiación solar? (1=si; 0=no)	1	1	1	1	1	1	0	0

Exposiciones diarias horizontales, (Julios/día-m <sup>2</sup> )								
Coeficiente de transmisión total atmosférica, $k_T$	0,627							
Coeficiente de transmisión radiación difusa, $K_D$	0,271							
Exposición difusa diaria horizontal, $H_m^D$	4.582.917,410							
Exposición directa diaria horizontal, $H_m^B$	12.337.082,590							
Altura solar real a mitad intervalo horario, h (°)	47,98	43,66	36,07	26,43	15,62	5,00	0,00	0,00
Coseno ángulo de incidencia panel orientado e inclinado, $\cos(\theta_{b,g})$	0,991	0,923	0,793	0,608	0,382	0,149	0,000	0,000

<b>Exposiciones horarias horizontales (Julios/hora-m<sup>2</sup>)</b>								
Coefficiente distribución global horaria radiación global, $r_{GH}$	0,143	0,129	0,104	0,072	0,039	0,011	0,000	0,000
Coefficiente distribución global horaria radiación difusa, $r_{DH}$	0,133	0,123	0,105	0,079	0,048	0,016	0,000	0,000
Exposición horaria global, $H_h^G$	2.416.924,1	2.184.217,3	1.761.257,8	1.222.934,7	659.125,0	186.399,5	0,0	0,0
Exposición horaria difusa, $H_h^D$	607.387,2	564.399,9	481.354,8	363.911,3	220.073,0	71.231,5	0,0	0,0
Exposición horaria directa, $H_h^B$	1.809.536,9	1.619.817,3	1.279.903,0	859.023,4	439.051,9	115.168,0	0,0	0,0

<b>Exposiciones horarias inclinadas-orientadas (Julios/hora-m<sup>2</sup>)</b>								
Factor conversión radiación directa, $F^B(b,g)$	1,333	1,337	1,346	1,367	1,421	1,707	0,000	0,000
Exposición horaria directa inclinada-orientada, $H_h^B(b,g)$	2.412.688,3	2.165.856,4	1.723.154,0	1.173.882,8	623.755,1	196.589,2	0,0	0,0
Factor de forma radiación difusa, $F^D(b)$	0,889							
Exposición horaria difusa inclinada-orientada, $H_h^D(b,g)$	539.707,9	501.510,5	427.718,9	323.361,8	195.550,9	63.294,4	0,0	0,0
Factor de forma radiación reflejada, $F^D(b)$	0,028							
Reflectividad superficie, $r$	0,250							
Exposición horaria reflejada inclinada-orientada, $H_h^R(b,g)$	67.327,7	60.845,2	49.062,9	34.067,0	18.361,1	5.192,5	0,0	0,0
Exposición horaria global inclinada-orientada, $H_h^G(b,g)$	3.019.723,8	2.728.212,1	2.199.935,8	1.531.311,6	837.667,1	265.076,1	0,0	0,0

<b>Exposición global diaria inclinada-orientada, <math>H_mG(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>21.163.853</b>
<b>Exposición directa diaria inclinada-orientada, <math>H_m^B(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>16.591.852</b>
<b>Exposición global mensual inclinada-orientada, <math>H_mG(b,g)</math> (Julios/mes-m<sup>2</sup>)</b>	<b>656.079.443</b>
<b>Exposición directa mensual inclinada-orientada, <math>H_mB(b,g)</math> (Julios/mes-m<sup>2</sup>)</b>	<b>514.347.398</b>
<b>Irradiación directa media diaria (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>393,3</b>
<b>Irradiación global media diaria (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>501,7</b>

Fig. 3c: Tabla de exposiciones solares en el mes de Marzo.

En la ciudad de Denia para el mes de Abril se obtienen los siguientes resultados:

DATOS		
Latitud, L (°-rad)	38,83	0,678
Día medio del mes, N (a contar desde el 1 de enero)	105,25	
Exposición global horizontal terrestre diaria media mensual, $H_m^G$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	2,20E+07	
Exposición global horizontal extraterrestre diaria media mensual, $H_o$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	3,42E+07	
Inclinación del colector, b (°-rad)	39,0	0,681
Orientación del colector, g (°)	0,0	0,000

CALCULOS								
Geométricos								
Declinación, d (°-rad)	9,409	0,164						
Angulo horario de salida-puesta del sol, Ws (°-rad)	97,7	1,705						
Duración del día (horas)	13,0							
Hora solar, j (h)	1/2	1 1/2	2 1/2	3 1/2	4 1/2	5 1/2	6 1/2	7 1/2
Angulo horario solar, Wj (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	1,702	0,000
Angulo horario real a mitad intervalo horario, Wj (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	1,638	0,000
¿Radiación solar? (1=si; 0=no)	1	1	1	1	1	1	1	0

Exposiciones diarias horizontales, (Julios/día-m <sup>2</sup> )								
Coeficiente de transmisión total atmosférica, $k_T$	0,642							
Coeficiente de transmisión radiación difusa, $K_D$	0,259							
Exposición difusa diaria horizontal, $H_m^D$	5.687.430,357							
Exposición directa diaria horizontal, $H_m^B$	16.272.569,643							
Altura solar real a mitad intervalo horario, h (°)	59,82	54,34	45,42	34,77	23,37	11,70	2,93	0,00
Coseno ángulo de incidencia panel orientado e inclinado, $\cos(\theta_{b,g})$	0,978	0,911	0,782	0,600	0,377	0,128	0,066	0,000



<b>Exposiciones horarias horizontales (Julios/hora-m<sup>2</sup>)</b>								
Coefficiente distribución global horaria radiación global, $r_{GH}$	0,131	0,120	0,100	0,075	0,048	0,022	0,005	0,000
Coefficiente distribución global horaria radiación difusa, $r_{DH}$	0,121	0,114	0,100	0,080	0,055	0,028	0,007	0,000
Exposición horaria global, $H_h^G$	2.871.229,2	2.636.469,0	2.205.494,3	1.646.728,3	1.043.344,4	475.515,1	108.441,1	0,0
Exposición horaria difusa, $H_h^D$	687.295,2	646.011,0	566.256,0	453.465,3	315.325,5	161.250,7	40.656,5	0,0
Exposición horaria directa, $H_h^B$	2.183.934,0	1.990.458,0	1.639.238,4	1.193.263,0	728.018,8	314.264,5	67.784,6	0,0

<b>Exposiciones horarias inclinadas-orientadas (Julios/hora-m<sup>2</sup>)</b>								
Factor conversión radiación directa, $F^B(b,g)$	1,131	1,121	1,098	1,052	0,951	0,633	1,299	0,000
Exposición horaria directa inclinada-orientada, $H_h^B(b,g)$	2.469.817,9	2.231.582,2	1.800.289,5	1.255.463,0	692.118,4	198.777,9	88.047,3	0,0
Factor de forma radiación difusa, $F^D(b)$	0,889							
Exposición horaria difusa inclinada-orientada, $H_h^D(b,g)$	610.712,0	574.027,9	503.159,7	402.937,0	280.189,8	143.283,0	36.126,3	0,0
Factor de forma radiación reflejada, $F^D(b)$	0,028							
Reflectividad superficie, $r$	0,250							
Exposición horaria reflejada inclinada-orientada, $H_h^R(b,g)$	79.983,1	73.443,5	61.437,9	45.872,5	29.064,2	13.246,3	3.020,8	0,0
Exposición horaria global inclinada-orientada, $H_h^G(b,g)$	3.160.513,0	2.879.053,6	2.364.887,2	1.704.272,6	1.001.372,3	355.307,2	127.194,4	0,0

<b>Exposición global diaria inclinada-orientada, <math>H_m^G(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>23.185.200</b>
<b>Exposición directa diaria inclinada-orientada, <math>H_m^B(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>17.472.192</b>
<b>Exposición global mensual inclinada-orientada, <math>H_mG(b,g)</math> (Julios/mes-m<sup>2</sup>)</b>	<b>695.556.013</b>
<b>Exposición directa mensual inclinada-orientada, <math>H_mB(b,g)</math> (Julios/mes-m<sup>2</sup>)</b>	<b>524.165.773</b>
<b>Irradiación directa media diaria (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>372,7</b>
<b>Irradiación global media diaria (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>494,6</b>

Fig. 3d: Tabla de exposiciones solares en el mes de Abril.

En la ciudad de Denia para el mes de Mayo se obtienen los siguientes resultados:

DATOS		
Latitud, L (°-rad)	38,83	0,678
Día medio del mes, N (a contar desde el 1 de enero)	135,75	
Exposición global horizontal terrestre diaria media mensual, $H_m^G$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	2,70E+07	
Exposición global horizontal extraterrestre diaria media mensual, $H_o$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	3,93E+07	
Inclinación del colector, b (°-rad)	39,0	0,681
Orientación del colector, g (°)	0,0	0,000

CALCULOS								
Geométricos								
Declinación, d (°-rad)	18,903	0,330						
Angulo horario de salida-puesta del sol, $W_s$ (°-rad)	106,0	1,850						
Duración del día (horas)	14,1							
Hora solar, i (h)	<b>1/2</b>	<b>1 1/2</b>	<b>2 1/2</b>	<b>3 1/2</b>	<b>4 1/2</b>	<b>5 1/2</b>	<b>6 1/2</b>	<b>7 1/2</b>
Angulo horario solar, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	1,702	1,963
Angulo horario real a mitad intervalo horario, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	1,702	1,841
¿Radiación solar? (1=si; 0=no)	1	1	1	1	1	1	1	1

Exposiciones diarias horizontales, (Julios/día-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente de transmisión total atmosférica, $k_T$	0,687							
Coefficiente de transmisión radiación difusa, $K_D$	0,223							
Exposición difusa diaria horizontal, $H_m^D$	6.020.045,154							
Exposición directa diaria horizontal, $H_m^B$	20.979.954,846							
Altura solar real a mitad intervalo horario, h (°)	69,04	62,13	51,98	40,68	29,02	17,42	6,14	0,35
Coseno ángulo de incidencia panel orientado e inclinado, $\cos(\theta_{b,q})$	0,937	0,873	0,750	0,575	0,361	0,123	0,124	0,254

Exposiciones horarias horizontales (Julios/hora-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente distribución global horaria radiación global, $r_{Gh}$	0,122	0,114	0,097	0,076	0,052	0,029	0,009	0,001
Coefficiente distribución global horaria radiación difusa, $r_{Dh}$	0,113	0,107	0,095	0,079	0,059	0,036	0,013	0,001
Exposición horaria global, $H_h^G$	3.302.962,3	3.064.920,9	2.624.812,8	2.046.843,1	1.409.904,8	791.616,5	253.866,3	13.804,7
Exposición horaria difusa, $H_h^D$	678.693,3	642.502,4	572.587,2	473.712,1	352.615,3	217.549,3	77.718,8	4.494,4
Exposición horaria directa, $H_h^B$	2.624.269,0	2.422.418,4	2.052.225,6	1.573.131,1	1.057.289,5	574.067,2	176.147,5	9.310,3

Exposiciones horarias inclinadas-orientadas (Julios/hora-m <sup>2</sup> )								
Factor conversión radiación directa, $F^B(b,g)$	1,003	0,988	0,951	0,882	0,744	0,409	1,164	41,038
Exposición horaria directa inclinada-orientada, $H_h^B(b,g)$	2.633.223,1	2.392.441,9	1.952.644,3	1.387.719,6	786.878,1	234.984,1	204.996,0	382.075,1
Factor de forma radiación difusa, $F^D(b)$	0,889							
Exposición horaria difusa inclinada-orientada, $H_h^D(b,g)$	603.068,5	570.910,3	508.785,5	420.927,7	313.324,4	193.308,4	69.058,8	3.993,6
Factor de forma radiación reflejada, $F^D(b)$	0,028							
Reflectividad superficie, $r$	0,250							
Exposición horaria reflejada inclinada-orientada, $H_h^R(b,g)$	92.009,8	85.378,7	73.118,8	57.018,4	39.275,4	22.051,9	7.071,9	384,6
Exposición horaria global inclinada-orientada, $H_h^G(b,g)$	3.328.301,4	3.048.731,0	2.534.548,6	1.865.665,7	1.139.477,9	450.344,4	281.126,7	386.453,3

<b>Exposición global diaria inclinada-orientada, <math>H_m^G(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>26.069.298</b>
<b>Exposición directa diaria inclinada-orientada, <math>H_m^B(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>19.949.924</b>
<b>Exposición global mensual inclinada-orientada, <math>H_mG(b,g)</math> (Julios/mes-m<sup>2</sup>)</b>	<b>808.148.234</b>
<b>Exposición directa mensual inclinada-orientada, <math>H_mB(b,g)</math> (Julios/mes-m<sup>2</sup>)</b>	<b>618.447.657</b>
<b>Irradiación directa media diaria (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>392,1</b>
<b>Irradiación global media diaria (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>512,4</b>

Fig. 3e: Tabla de exposiciones solares en el mes de Mayo.

En la ciudad de Denia para el mes de Junio se obtienen los siguientes resultados:

DATOS		
Latitud, L (°-rad)	38,83	0,678
Día medio del mes, N (a contar desde el 1 de enero)	166,25	
Exposición global horizontal terrestre diaria media mensual, $H_m^G$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	2,81E+07	
Exposición global horizontal extraterrestre diaria media mensual, $H_o$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	4,14E+07	
Inclinación del colector, b (°-rad)	39,0	0,681
Orientación del colector, g (°)	0,0	0,000

CALCULOS								
Geométricos								
Declinación, d (°-rad)	23,312	0,407						
Angulo horario de salida-puesta del sol, $W_s$ (°-rad)	110,3	1,925						
Duración del día (horas)	14,7							
Hora solar, i (h)	<b>1/2</b>	<b>1 1/2</b>	<b>2 1/2</b>	<b>3 1/2</b>	<b>4 1/2</b>	<b>5 1/2</b>	<b>6 1/2</b>	<b>7 1/2</b>
Angulo horario solar, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	1,702	1,963
Angulo horario real a mitad intervalo horario, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	1,702	1,879
¿Radiación solar? (1=si; 0=no)	1	1	1	1	1	1	1	1

Exposiciones diarias horizontales, (Julios/día-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente de transmisión total atmosférica, $k_T$	0,678							
Coefficiente de transmisión radiación difusa, $K_D$	0,230							
Exposición difusa diaria horizontal, $H_m^D$	6.464.521,980							
Exposición directa diaria horizontal, $H_m^B$	21.615.478,020							
Altura solar real a mitad intervalo horario, h (°)	73,22	65,38	54,66	43,13	31,46	19,97	8,90	1,79
Coseno ángulo de incidencia panel orientado e inclinado, $\cos(\theta_{b,g})$	0,909	0,847	0,727	0,558	0,350	0,119	0,121	0,280

Exposiciones horarias horizontales (Julios/hora-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente distribución global horaria radiación global, $r_{Gh}$	0,119	0,111	0,096	0,076	0,054	0,032	0,013	0,003
Coefficiente distribución global horaria radiación difusa, $r_{Dh}$	0,109	0,104	0,093	0,078	0,059	0,039	0,018	0,004
Exposición horaria global, $H_h^G$	3.328.865,2	3.102.984,4	2.684.028,2	2.130.706,5	1.515.551,2	910.643,0	374.617,2	70.577,4
Exposición horaria difusa, $H_h^D$	705.326,0	669.716,4	600.924,0	503.636,9	384.484,9	251.588,2	114.003,3	23.023,5
Exposición horaria directa, $H_h^B$	2.623.539,2	2.433.268,0	2.083.104,2	1.627.069,6	1.131.066,3	659.054,8	260.613,9	47.553,9

Exposiciones horarias inclinadas-orientadas (Julios/hora-m <sup>2</sup> )								
Factor conversión radiación directa, $F^B(b,g)$	0,950	0,932	0,892	0,816	0,671	0,348	0,782	8,946
Exposición horaria directa inclinada-orientada, $H_h^B(b,g)$	2.491.746,6	2.267.832,4	1.857.614,9	1.327.763,5	759.089,7	229.061,5	203.849,2	425.401,4
Factor de forma radiación difusa, $F^D(b)$	0,889							
Exposición horaria difusa inclinada-orientada, $H_h^D(b,g)$	626.733,6	595.091,9	533.964,8	447.518,1	341.642,9	223.554,4	101.300,3	20.458,1
Factor de forma radiación reflejada, $F^D(b)$	0,028							
Reflectividad superficie, $r$	0,250							
Exposición horaria reflejada inclinada-orientada, $H_h^R(b,g)$	92.731,4	86.439,1	74.768,3	59.354,6	42.218,3	25.367,6	10.435,6	1.966,1
Exposición horaria global inclinada-orientada, $H_h^G(b,g)$	3.211.211,6	2.949.363,4	2.466.348,1	1.834.636,2	1.142.951,0	477.983,5	315.585,1	447.825,5

<b>Exposición global diaria inclinada-orientada, <math>H_m^G(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>25.691.809</b>
<b>Exposición directa diaria inclinada-orientada, <math>H_m^B(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>19.124.719</b>
<b>Exposición global mensual inclinada-orientada, <math>HmG(b,g)</math> (Julios/mes-m2)</b>	<b>770.754.267</b>
<b>Exposición directa mensual inclinada-orientada, <math>HmB(b,g)</math> (Julios/mes-m2)</b>	<b>573.741.560</b>
<b>Irradiación directa media diaria (W/m2)</b>	<b>361,2</b>
<b>Irradiación global media diaria (W/m2)</b>	<b>485,3</b>

Fig. 3f: Tabla de exposiciones solares en el mes de Junio.

En la ciudad de Denia para el mes de Julio se obtienen los siguientes resultados:

DATOS		
Latitud, L (°-rad)	38,83	0,678
Día medio del mes, N (a contar desde el 1 de enero)	196,75	
Exposición global horizontal terrestre diaria media mensual, $H_m^G$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	2,84E+07	
Exposición global horizontal extraterrestre diaria media mensual, $H_o$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	4,03E+07	
Inclinación del colector, b (°-rad)	39,0	0,681
Orientación del colector, g (°)	0,0	0,000

CALCULOS								
Geométricos								
Declinación, d (°-rad)	21,449	0,374						
Angulo horario de salida-puesta del sol, $W_s$ (°-rad)	108,4	1,893						
Duración del día (horas)	14,5							
Hora solar, i (h)	<b>1/2</b>	<b>1 1/2</b>	<b>2 1/2</b>	<b>3 1/2</b>	<b>4 1/2</b>	<b>5 1/2</b>	<b>6 1/2</b>	<b>7 1/2</b>
Angulo horario solar, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	1,702	1,963
Angulo horario real a mitad intervalo horario, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	1,702	1,863
¿Radiación solar? (1=si; 0=no)	1	1	1	1	1	1	1	1

Exposiciones diarias horizontales, (Julios/día-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente de transmisión total atmosférica, $k_T$	0,706							
Coefficiente de transmisión radiación difusa, $K_D$	0,207							
Exposición difusa diaria horizontal, $H_m^D$	5.887.942,892							
Exposición directa diaria horizontal, $H_m^B$	22.552.057,108							
Altura solar real a mitad intervalo horario, h (°)	71,47	64,05	53,56	42,12	30,45	18,90	7,74	1,19
Coseno ángulo de incidencia panel orientado e inclinado, $\cos(\theta_{b,g})$	0,922	0,859	0,737	0,566	0,355	0,120	0,123	0,269

Exposiciones horarias horizontales (Julios/hora-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente distribución global horaria radiación global, $r_{Gh}$	0,120	0,112	0,096	0,076	0,053	0,031	0,012	0,002
Coefficiente distribución global horaria radiación difusa, $r_{Dh}$	0,111	0,105	0,094	0,078	0,059	0,038	0,016	0,002
Exposición horaria global, $H_h^G$	3.416.906,0	3.179.023,3	2.738.397,1	2.157.839,2	1.514.769,5	885.796,0	332.710,0	47.909,7
Exposición horaria difusa, $H_h^D$	651.427,6	617.769,4	552.746,8	460.790,9	348.168,3	222.554,2	92.508,9	14.235,0
Exposición horaria directa, $H_h^B$	2.765.478,3	2.561.253,8	2.185.650,3	1.697.048,4	1.166.601,2	663.241,8	240.201,1	33.674,7

Exposiciones horarias inclinadas-orientadas (Julios/hora-m <sup>2</sup> )								
Factor conversión radiación directa, $F^B(b,g)$	0,972	0,955	0,916	0,843	0,701	0,372	0,910	12,974
Exposición horaria directa inclinada-orientada, $H_h^B(b,g)$	2.688.338,3	2.446.332,2	2.003.109,6	1.430.959,3	817.466,7	246.524,4	218.661,7	436.910,5
Factor de forma radiación difusa, $F^D(b)$	0,889							
Exposición horaria difusa inclinada-orientada, $H_h^D(b,g)$	578.841,0	548.933,2	491.155,9	409.446,3	309.373,0	197.755,6	82.200,9	12.648,9
Factor de forma radiación reflejada, $F^D(b)$	0,028							
Reflectividad superficie, $r$	0,250							
Exposición horaria reflejada inclinada-orientada, $H_h^R(b,g)$	95.183,9	88.557,3	76.282,9	60.110,4	42.196,6	24.675,4	9.268,2	1.334,6
Exposición horaria global inclinada-orientada, $H_h^G(b,g)$	3.362.363,2	3.083.822,8	2.570.548,3	1.900.516,0	1.169.036,2	468.955,4	310.130,9	450.893,9

<b>Exposición global diaria inclinada-orientada, <math>H_m^G(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>26.632.534</b>
<b>Exposición directa diaria inclinada-orientada, <math>H_m^B(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>20.576.605</b>
<b>Exposición global mensual inclinada-orientada, <math>H_mG(b,g)</math> (Julios/mes-m<sup>2</sup>)</b>	<b>825.608.539</b>
<b>Exposición directa mensual inclinada-orientada, <math>H_mB(b,g)</math> (Julios/mes-m<sup>2</sup>)</b>	<b>637.874.770</b>
<b>Irradiación directa media diaria (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>395,3</b>
<b>Irradiación global media diaria (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>511,7</b>

Fig. 3g: Tabla de exposiciones solares en el mes de Julio.

En la ciudad de Denia para el mes de Agosto se obtienen los siguientes resultados:

DATOS		
Latitud, L (°-rad)	38,83	0,678
Día medio del mes, N (a contar desde el 1 de enero)	227,75	
Exposición global horizontal terrestre diaria media mensual, $H_m^G$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	2,38E+07	
Exposición global horizontal extraterrestre diaria media mensual, $H_o$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	3,61E+07	
Inclinación del colector, b (°-rad)	39,0	0,681
Orientación del colector, g (°)	0,0	0,000

CALCULOS								
Geométricos								
Declinación, d (°-rad)	13,653	0,238						
Angulo horario de salida-puesta del sol, $W_s$ (°-rad)	101,3	1,768						
Duración del día (horas)	13,5							
Hora solar, i (h)	<b>1/2</b>	<b>1 1/2</b>	<b>2 1/2</b>	<b>3 1/2</b>	<b>4 1/2</b>	<b>5 1/2</b>	<b>6 1/2</b>	<b>7 1/2</b>
Angulo horario solar, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	1,702	0,000
Angulo horario real a mitad intervalo horario, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	1,669	0,000
¿Radiación solar? (1=si; 0=no)	1	1	1	1	1	1	1	0

Exposiciones diarias horizontales, (Julios/día-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente de transmisión total atmosférica, $k_T$	0,658							
Coefficiente de transmisión radiación difusa, $K_D$	0,246							
Exposición difusa diaria horizontal, $H_m^D$	5.854.606,484							
Exposición directa diaria horizontal, $H_m^B$	17.905.393,516							
Altura solar real a mitad intervalo horario, h (°)	63,96	57,93	48,47	37,50	25,96	14,29	4,22	0,00
Coseno ángulo de incidencia panel orientado e inclinado, $\cos(\theta_{b,g})$	0,963	0,897	0,770	0,591	0,371	0,126	0,096	0,000



Exposiciones horarias horizontales (Julios/hora-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente distribución global horaria radiación global, $r_{Gh}$	0,127	0,117	0,099	0,075	0,050	0,025	0,007	0,000
Coefficiente distribución global horaria radiación difusa, $r_{Dh}$	0,117	0,110	0,098	0,079	0,057	0,032	0,010	0,000
Exposición horaria global, $H_h^G$	3.015.494,3	2.782.397,6	2.353.095,3	1.793.227,0	1.182.958,6	600.262,1	161.021,1	0,0
Exposición horaria difusa, $H_h^D$	685.861,2	646.819,6	571.397,1	464.733,4	334.097,7	188.392,5	56.210,4	0,0
Exposición horaria directa, $H_h^B$	2.329.633,1	2.135.578,0	1.781.698,3	1.328.493,6	848.860,9	411.869,7	104.810,7	0,0

Exposiciones horarias inclinadas-orientadas (Julios/hora-m <sup>2</sup> )								
Factor conversión radiación directa, $F^B(b,g)$	1,071	1,059	1,029	0,970	0,848	0,511	1,306	0,000
Exposición horaria directa inclinada-orientada, $H_h^B(b,g)$	2.496.105,3	2.260.828,2	1.833.272,4	1.289.279,6	719.851,5	210.498,1	136.853,7	0,0
Factor de forma radiación difusa, $F^D(b)$	0,889							
Exposición horaria difusa inclinada-orientada, $H_h^D(b,g)$	609.437,8	574.746,5	507.728,0	412.949,6	296.870,2	167.400,4	49.947,1	0,0
Factor de forma radiación reflejada, $F^D(b)$	0,028							
Reflectividad superficie, $r$	0,250							
Exposición horaria reflejada inclinada-orientada, $H_h^R(b,g)$	84.001,9	77.508,6	65.549,6	49.953,5	32.953,4	16.721,4	4.485,5	0,0
Exposición horaria global inclinada-orientada, $H_h^G(b,g)$	3.189.545,0	2.913.083,2	2.406.550,0	1.752.182,6	1.049.675,1	394.619,9	191.286,3	0,0

<b>Exposición global diaria inclinada-orientada, <math>H_m^G(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>23.793.884</b>
<b>Exposición directa diaria inclinada-orientada, <math>H_m^B(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>17.893.378</b>
<b>Exposición global mensual inclinada-orientada, <math>HmG(b,g)</math> (Julios/mes-m2)</b>	<b>737.610.411</b>
<b>Exposición directa mensual inclinada-orientada, <math>HmB(b,g)</math> (Julios/mes-m2)</b>	<b>554.694.705</b>
<b>Irradiación directa media diaria (W/m2)</b>	<b>368,1</b>
<b>Irradiación global media diaria (W/m2)</b>	<b>489,5</b>

Fig. 3h: Tabla de exposiciones solares en el mes de Agosto.

En la ciudad de Denia para el mes de Septiembre se obtienen los siguientes resultados:

DATOS		
Latitud, L (°-rad)	38,83	0,678
Día medio del mes, N (a contar desde el 1 de enero)	258,25	
Exposición global horizontal terrestre diaria media mensual, $H_m^G$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	2,38E+07	
Exposición global horizontal extraterrestre diaria media mensual, $H_o$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	2,95E+07	
Inclinación del colector, b (°-rad)	39,0	0,681
Orientación del colector, g (°)	0,0	0,000

CALCULOS								
Geométricos								
Declinación, d (°-rad)	2,266	0,040						
Angulo horario de salida-puesta del sol, Ws (°-rad)	91,8	1,603						
Duración del día (horas)	12,2							
Hora solar, i (h)	1/2	1 1/2	2 1/2	3 1/2	4 1/2	5 1/2	6 1/2	7 1/2
Angulo horario solar, Wj (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	1,702	0,000
Angulo horario real a mitad intervalo horario, Wj (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	1,440	1,587	0,000
¿Radiación solar? (1=si; 0=no)	1	1	1	1	1	1	1	0

Exposiciones diarias horizontales, (Julios/día-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente de transmisión total atmosférica, $k_T$	0,805							
Coefficiente de transmisión radiación difusa, $K_D$	0,107							
Exposición difusa diaria horizontal, $H_m^D$	2.532.054,910							
Exposición directa diaria horizontal, $H_m^B$	21.227.945,090							
Altura solar real a mitad intervalo horario, h (°)	52,80	48,07	39,97	29,91	18,82	7,26	0,71	0,00
Coseno ángulo de incidencia panel orientado e inclinado, $\cos(\theta_{b,g})$	0,991	0,923	0,793	0,608	0,382	0,130	0,016	0,000

<b>Exposiciones horarias horizontales (Julios/hora-m<sup>2</sup>)</b>								
Coefficiente distribución global horaria radiación global, $r_{Gh}$	0,138	0,125	0,103	0,074	0,043	0,015	0,001	0,000
Coefficiente distribución global horaria radiación difusa, $r_{Dh}$	0,128	0,119	0,103	0,080	0,052	0,020	0,002	0,000
Exposición horaria global, $H_h^G$	3.270.465,4	2.976.232,7	2.439.167,6	1.750.168,1	1.018.886,2	349.455,5	31.435,7	0,0
Exposición horaria difusa, $H_h^D$	322.851,5	301.534,4	260.352,8	202.113,3	130.784,8	51.228,1	5.022,7	0,0
Exposición horaria directa, $H_h^B$	2.947.613,9	2.674.698,3	2.178.814,8	1.548.054,8	888.101,5	298.227,3	26.413,0	0,0

<b>Exposiciones horarias inclinadas-orientadas (Julios/hora-m<sup>2</sup>)</b>								
Factor conversión radiación directa, $F^B(b,g)$	1,244	1,241	1,234	1,220	1,185	1,031	1,293	0,000
Exposición horaria directa inclinada-orientada, $H_h^B(b,g)$	3.665.600,4	3.318.626,2	2.688.565,4	1.888.056,4	1.052.136,3	307.472,3	34.164,3	0,0
Factor de forma radiación difusa, $F^D(b)$	0,889							
Exposición horaria difusa inclinada-orientada, $H_h^D(b,g)$	286.877,1	267.935,3	231.342,5	179.592,4	116.211,8	45.519,9	4.463,0	0,0
Factor de forma radiación reflejada, $F^D(b)$	0,028							
Reflectividad superficie, $r$	0,250							
Exposición horaria reflejada inclinada-orientada, $H_h^R(b,g)$	91.104,6	82.908,2	67.947,3	48.754,0	28.382,9	9.734,7	875,7	0,0
Exposición horaria global inclinada-orientada, $H_h^G(b,g)$	4.043.582,0	3.669.469,7	2.987.855,2	2.116.402,9	1.196.730,9	362.726,9	39.503,0	0,0

<b>Exposición global diaria inclinada-orientada, <math>H_m^G(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>28.832.541</b>
<b>Exposición directa diaria inclinada-orientada, <math>H_m^B(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>25.909.243</b>
<b>Exposición global mensual inclinada-orientada, <math>HmG(b,g)</math> (Julios/mes-m<sup>2</sup>)</b>	<b>864.976.239</b>
<b>Exposición directa mensual inclinada-orientada, <math>HmB(b,g)</math> (Julios/mes-m<sup>2</sup>)</b>	<b>777.277.277</b>
<b>Irradiación directa media diaria (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>587,8</b>
<b>Irradiación global media diaria (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>654,2</b>

Fig. 3i: Tabla de exposiciones solares en el mes de Septiembre.

En la ciudad de Denia para el mes de Octubre se obtienen los siguientes resultados:

DATOS		
Latitud, L (°-rad)	38,83	0,678
Día medio del mes, N (a contar desde el 1 de enero)	288,75	
Exposición global horizontal terrestre diaria media mensual, $H_m^G$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	1,91E+07	
Exposición global horizontal extraterrestre diaria media mensual, $H_o$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	2,21E+07	
Inclinación del colector, b (°-rad)	39,0	0,681
Orientación del colector, g (°)	0,0	0,000

CALCULOS		
Geométricos		
Declinación, d (°-rad)	-9,731	-0,170
Angulo horario de salida-puesta del sol, Ws (°-rad)	82,1	1,432
Duración del día (horas)	10,9	
Hora solar, i (h)	1/2	1 1/2    2 1/2    3 1/2    4 1/2    5 1/2    6 1/2    7 1/2
Angulo horario solar, Wj (rad)	0,131	0,393    0,654    0,916    1,178    1,440    0,000    0,000
Angulo horario real a mitad intervalo horario, Wj (rad)	0,131	0,393    0,654    0,916    1,178    1,371    0,000    0,000
¿Radiación solar? (1=si; 0=no)	1	1    1    1    1    1    1    0    0

Exposiciones diarias horizontales, (Julios/día-m <sup>2</sup> )								
Coeficiente de transmisión total atmosférica, $k_T$	0,863							
Coeficiente de transmisión radiación difusa, $K_D$	0,031							
Exposición difusa diaria horizontal, $H_m^D$	596.723,228							
Exposición directa diaria horizontal, $H_m^B$	18.483.276,772							
Altura solar real a mitad intervalo horario, h (°)	40,94	37,11	30,21	21,19	10,83	2,67	0,00	0,00
Coseno ángulo de incidencia <b>panel orientado e inclinado</b> , $\cos(\theta_{b,g})$	0,978	0,911	0,782	0,601	0,378	0,196	0,000	0,000

Exposiciones horarias horizontales (Julios/hora-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente distribución global horaria radiación global, $r_{Gh}$	0,152	0,135	0,106	0,069	0,032	0,007	0,000	0,000
Coefficiente distribución global horaria radiación difusa, $r_{Dh}$	0,141	0,130	0,108	0,078	0,040	0,010	0,000	0,000
Exposición horaria global, $H_h^G$	2.890.793,1	2.581.326,7	2.022.733,4	1.321.063,4	602.634,1	132.731,7	0,0	0,0
Exposición horaria difusa, $H_h^D$	84.091,0	77.433,5	64.572,1	46.383,4	24.106,8	5.988,2	0,0	0,0
Exposición horaria directa, $H_h^B$	2.806.702,1	2.503.893,2	1.958.161,3	1.274.680,0	578.527,3	126.743,5	0,0	0,0

Exposiciones horarias inclinadas-orientadas (Julios/hora-m <sup>2</sup> )								
Factor conversión radiación directa, $F^B(b,g)$	1,492	1,510	1,555	1,661	2,011	4,210	0,000	0,000
Exposición horaria directa inclinada-orientada, $H_h^B(b,g)$	4.187.770,0	3.780.821,6	3.045.041,9	2.117.841,0	1.163.174,5	533.590,0	0,0	0,0
Factor de forma radiación difusa, $F^D(b)$	0,889							
Exposición horaria difusa inclinada-orientada, $H_h^D(b,g)$	74.721,0	68.805,3	57.377,0	41.215,0	21.420,7	5.320,9	0,0	0,0
Factor de forma radiación reflejada, $F^D(b)$	0,028							
Reflectividad superficie, $r$	0,250							
Exposición horaria reflejada inclinada-orientada, $H_h^R(b,g)$	80.528,1	71.907,4	56.346,8	36.800,5	16.787,4	3.697,5	0,0	0,0
Exposición horaria global inclinada-orientada, $H_h^G(b,g)$	4.343.019,1	3.921.534,3	3.158.765,8	2.195.856,6	1.201.382,6	542.608,4	0,0	0,0

<b>Exposición global diaria inclinada-orientada, <math>H_m^G(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>30.726.334</b>
<b>Exposición directa diaria inclinada-orientada, <math>H_m^B(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>29.656.478</b>
<b>Exposición global mensual inclinada-orientada, <math>HmG(b,g)</math> (Julios/mes-m2)</b>	<b>952.516.340</b>
<b>Exposición directa mensual inclinada-orientada, <math>HmB(b,g)</math> (Julios/mes-m2)</b>	<b>919.350.819</b>
<b>Irradiación directa media diaria (W/m2)</b>	<b>752,9</b>
<b>Irradiación global media diaria (W/m2)</b>	<b>780,0</b>

Fig. 3j: Tabla de exposiciones solares en el mes de Octubre.

En la ciudad de Denia para el mes de Noviembre se obtienen los siguientes resultados:

DATOS								
Latitud, L (°-rad)	38,83	0,678						
Día medio del mes, N (a contar desde el 1 de enero)	319,25							
Exposición global horizontal terrestre diaria media mensual, $H_m^G$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	9,72E+06							
Exposición global horizontal extraterrestre diaria media mensual, $H_o$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	1,61E+07							
Inclinación del colector, b (°-rad)	39,0	0,681						
Orientación del colector, g (°)	0,0	0,000						

CALCULOS								
Geométricos								
Declinación, d (°-rad)	-19,110	-0,334						
Angulo horario de salida-puesta del sol, $W_s$ (°-rad)	73,8	1,288						
Duración del día (horas)	9,8							
Hora solar, i (h)	<b>1/2</b>	<b>1 1/2</b>	<b>2 1/2</b>	<b>3 1/2</b>	<b>4 1/2</b>	<b>5 1/2</b>	<b>6 1/2</b>	<b>7 1/2</b>
Angulo horario solar, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	0,000	0,000	0,000
Angulo horario real a mitad intervalo horario, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,168	0,000	0,000	0,000
¿Radiación solar? (1=si; 0=no)	1	1	1	1	1	0	0	0

Exposiciones diarias horizontales, (Julios/día-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente de transmisión total atmosférica, $k_T$	0,604							
Coefficiente de transmisión radiación difusa, $K_D$	0,288							
Exposición difusa diaria horizontal, $H_m^D$	2.801.628,928							
Exposición directa diaria horizontal, $H_m^B$	6.918.371,072							
Altura solar real a mitad intervalo horario, h (°)	31,64	28,34	22,25	14,05	4,79	0,00	0,00	0,00
Coseno ángulo de incidencia panel orientado e inclinado, $\cos(\theta_{b,g})$	0,938	0,874	0,751	0,576	0,372	0,000	0,000	0,000

Exposiciones horarias horizontales (Julios/hora-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente distribución global horaria radiación global, $r_{Gh}$	0,166	0,145	0,108	0,062	0,018	0,000	0,000	0,000
Coefficiente distribución global horaria radiación difusa, $r_{Dh}$	0,155	0,140	0,112	0,072	0,025	0,000	0,000	0,000
Exposición horaria global, $H_h^G$	1.615.651,5	1.411.986,5	1.048.480,4	601.771,3	178.442,1	0,0	0,0	0,0
Exposición horaria difusa, $H_h^D$	434.747,4	393.525,3	313.890,3	201.269,4	69.191,9	0,0	0,0	0,0
Exposición horaria directa, $H_h^B$	1.180.904,1	1.018.461,2	734.590,2	400.501,8	109.250,2	0,0	0,0	0,0

Exposiciones horarias inclinadas-orientadas (Julios/hora-m <sup>2</sup> )								
Factor conversión radiación directa, $F^B(b,g)$	1,788	1,841	1,982	2,373	4,452	0,000	0,000	0,000
Exposición horaria directa inclinada-orientada, $H_h^B(b,g)$	2.111.337,8	1.874.699,2	1.455.987,7	950.316,1	486.362,9	0,0	0,0	0,0
Factor de forma radiación difusa, $F^D(b)$	0,889							
Exposición horaria difusa inclinada-orientada, $H_h^D(b,g)$	386.304,8	349.675,9	278.914,4	178.842,6	61.482,0	0,0	0,0	0,0
Factor de forma radiación reflejada, $F^D(b)$	0,028							
Reflectividad superficie, $r$	0,250							
Exposición horaria reflejada inclinada-orientada, $H_h^R(b,g)$	45.006,8	39.333,4	29.207,3	16.763,4	4.970,8	0,0	0,0	0,0
Exposición horaria global inclinada-orientada, $H_h^G(b,g)$	2.542.649,4	2.263.708,5	1.764.109,3	1.145.922,0	552.815,7	0,0	0,0	0,0

<b>Exposición global diaria inclinada-orientada, <math>H_m^G(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>16.538.410</b>
<b>Exposición directa diaria inclinada-orientada, <math>H_m^B(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>13.757.407</b>
<b>Exposición global mensual inclinada-orientada, <math>H_mG(b,g)</math> (Julios/mes-m2)</b>	<b>496.152.301</b>
<b>Exposición directa mensual inclinada-orientada, <math>H_mB(b,g)</math> (Julios/mes-m2)</b>	<b>412.722.221</b>
<b>Irradiación directa media diaria (W/m2)</b>	<b>388,3</b>
<b>Irradiación global media diaria (W/m2)</b>	<b>466,8</b>

Fig. 3k: Tabla de exposiciones solares en el mes de Noviembre.

En la ciudad de Denia para el mes de Diciembre se obtienen los siguientes resultados:

DATOS		
Latitud, $L$ ( $^{\circ}$ -rad)	38,83	0,678
Día medio del mes, $N$ (a contar desde el 1 de enero)	349,75	
Exposición global horizontal terrestre diaria media mensual, $H_m^G$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	7,92E+06	
Exposición global horizontal extraterrestre diaria media mensual, $H_o$ (Julios/m <sup>2</sup> -día)	1,34E+07	
Inclinación del colector, $b$ ( $^{\circ}$ -rad)	39,0	0,681
Orientación del colector, $g$ ( $^{\circ}$ )	0,0	0,000

CALCULOS								
Geométricos								
Declinación, $d$ ( $^{\circ}$ -rad)	-23,347	-0,407						
Angulo horario de salida-puesta del sol, $W_s$ ( $^{\circ}$ -rad)	69,7	1,216						
Duración del día (horas)	9,3							
Hora solar, $j$ (h)	<b>1/2</b>	<b>1 1/2</b>	<b>2 1/2</b>	<b>3 1/2</b>	<b>4 1/2</b>	<b>5 1/2</b>	<b>6 1/2</b>	<b>7 1/2</b>
Angulo horario solar, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,178	0,000	0,000	0,000
Angulo horario real a mitad intervalo horario, $W_j$ (rad)	0,131	0,393	0,654	0,916	1,132	0,000	0,000	0,000
¿Radiación solar? (1=si; 0=no)	1	1	1	1	1	0	0	0

Exposiciones diarias horizontales, (Julios/día-m <sup>2</sup> )								
Coefficiente de transmisión total atmosférica, $k_T$	0,591							
Coefficiente de transmisión radiación difusa, $K_D$	0,298							
Exposición difusa diaria horizontal, $H_m^D$	2.358.403,920							
Exposición directa diaria horizontal, $H_m^B$	5.561.596,080							
Altura solar real a mitad intervalo horario, $h$ ( $^{\circ}$ )	27,43	24,35	18,60	10,77	3,19	0,00	0,00	0,00
Coseno ángulo de incidencia panel orientado e inclinado, $\cos(\theta_{b,g})$	0,911	0,849	0,730	0,560	0,392	0,000	0,000	0,000



<b>Exposiciones horarias horizontales (Julios/hora-m<sup>2</sup>)</b>								
Coefficiente distribución global horaria radiación global, $r_{Gh}$	0,175	0,151	0,108	0,056	0,015	0,000	0,000	0,000
Coefficiente distribución global horaria radiación difusa, $r_{Dh}$	0,164	0,146	0,113	0,066	0,020	0,000	0,000	0,000
Exposición horaria global, $H_h^G$	1.385.387,9	1.194.525,3	856.024,8	445.293,4	115.876,5	0,0	0,0	0,0
Exposición horaria difusa, $H_h^D$	385.869,6	345.387,1	267.180,9	156.580,5	46.614,1	0,0	0,0	0,0
Exposición horaria directa, $H_h^B$	999.518,3	849.138,2	588.844,0	288.712,8	69.262,5	0,0	0,0	0,0

<b>Exposiciones horarias inclinadas-orientadas (Julios/hora-m<sup>2</sup>)</b>								
Factor conversión radiación directa, $F^B(b,g)$	1,979	2,060	2,287	2,997	7,037	0,000	0,000	0,000
Exposición horaria directa inclinada-orientada, $H_h^B(b,g)$	1.977.781,3	1.749.396,1	1.346.979,5	865.141,3	487.424,5	0,0	0,0	0,0
Factor de forma radiación difusa, $F^D(b)$	0,889							
Exposición horaria difusa inclinada-orientada, $H_h^D(b,g)$	342.873,3	306.901,7	237.409,7	139.133,2	41.420,0	0,0	0,0	0,0
Factor de forma radiación reflejada, $F^D(b)$	0,028							
Reflectividad superficie, $r$	0,250							
Exposición horaria reflejada inclinada-orientada, $H_h^R(b,g)$	38.592,4	33.275,6	23.846,1	12.404,4	3.227,9	0,0	0,0	0,0
Exposición horaria global inclinada-orientada, $H_h^G(b,g)$	2.359.247,0	2.089.573,3	1.608.235,2	1.016.679,0	532.072,4	0,0	0,0	0,0

<b>Exposición global diaria inclinada-orientada, <math>H_m^G(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>15.211.614</b>
<b>Exposición directa diaria inclinada-orientada, <math>H_m^B(b,g)</math> (Julios/día-m<sup>2</sup>)</b>	<b>12.853.445</b>
<b>Exposición global mensual inclinada-orientada, <math>H_mG(b,g)</math> (Julios/mes-m2)</b>	<b>471.560.036</b>
<b>Exposición directa mensual inclinada-orientada, <math>H_mB(b,g)</math> (Julios/mes-m2)</b>	<b>398.456.803</b>
<b>Irradiación directa media diaria (W/m2)</b>	<b>384,4</b>
<b>Irradiación global media diaria (W/m2)</b>	<b>454,9</b>

Fig. 31: Tabla de exposiciones solares en el mes de Diciembre.

### ❖ Cálculo de la inclinación óptima

La inclinación óptima del colector se obtiene analizando distintas opciones. Suele coincidir con la latitud de la zona geográfica.

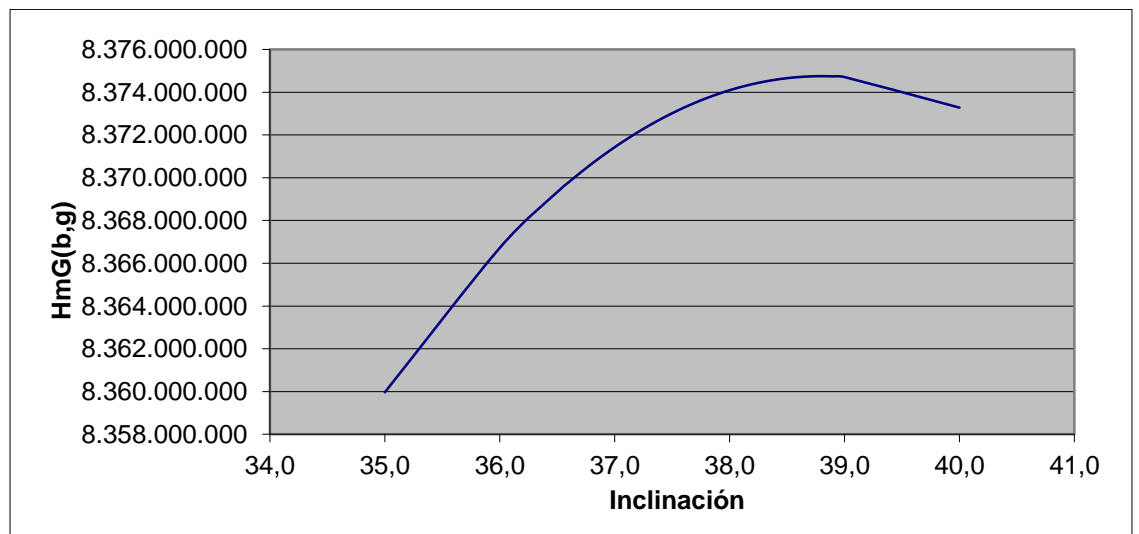
El proceso de cálculo es el siguiente:

- Se estiman varias inclinaciones de los paneles, cercanas a la latitud en la que esté situado el panel, para poder experimentar.
- Se calcula la suma de las exposiciones globales mensuales inclinada-orientada a lo largo de un año con cada una de las inclinaciones anteriores.
- Se comparan las exposiciones anuales inclinada-orientada de cada una de las inclinaciones, aquella inclinación cuya exposición sea mayor es la que se le debe dar a los paneles solares.

Inclinación panel $b$ (°)	$H_m G(b, g)$ [J/m <sup>2</sup> -año]
35,0	8.359.964.607
36,0	8.366.722.204
36,5	8.369.334.048
36,6	8.369.795.033
36,7	8.370.235.553
36,8	8.370.655.607
36,9	8.371.055.194
37,0	8.371.434.312
37,1	8.371.792.960
37,2	8.372.131.137
37,3	8.372.448.843
37,4	8.372.746.075
37,5	8.373.022.834
37,6	8.373.279.118
37,7	8.373.514.927
37,8	8.373.730.260
37,9	8.373.925.116
38,0	8.374.099.495
38,1	8.374.253.395
38,2	8.374.386.818
38,3	8.374.499.761
38,4	8.374.592.226

38,5	8.374.664.211
38,6	8.374.715.717
38,7	8.374.746.743
38,8	8.374.757.289
38,9	8.374.747.355
39,0	8.374.716.941
40,0	8.373.286.462

*Fig. 4: Tabla de inclinaciones*



*Fig. 5: Gráfica de inclinación máxima*

El ángulo óptimo es de 38,8°, que es prácticamente igual a la latitud de 39°.

### ❖ Cálculo de la demanda térmica

#### 1. Demanda del Agua Caliente Sanitaria (A.C.S.)

Se deben establecer lo primero de todo unos parámetros que dependen de la edificación y de los habitantes.

- Número de ocupantes del o los edificios.
- Nivel de ocupación de las viviendas en cada mes (valores de 0 a 1).
- Demanda por ocupante de litros de agua caliente al día.
- Temperatura del agua fría de la red.
- Temperatura del agua caliente de consumo.
- Datos del anticongelante de los paneles ( $C_p$  primario,  $p$  primario y concentración).

Una vez establecidos estos parámetros ya se puede proceder a los cálculos.

- Número de ocupantes reales:

**Eq. 1:**

$$N^{\circ} \text{ ocupantes reales} = n^{\circ} \text{ ocupantes} * \text{nivel de ocupación}$$

- Demanda total diaria:

**Eq. 2:**

$$\text{Demanda total} = n^{\circ} \text{ ocupantes reales} * \text{demanda por ocupante agua caliente}$$

- Energía de A.C.S. al día:

**Eq. 3:**

$$\text{Energía A.C.S.} = C_p \text{ primario} * p \text{ primario} * \text{demanda total diaria} * (T_{\text{agua caliente}} - T_{\text{agua fría}})$$

- Energía A.C.S. al mes,  $Q_{ACS}$ :

**Eq. 4:**

$$Q_{ACS} = \text{Energía A.C.S.} \cdot n^{\circ} \text{ días mes}$$

## 2. Demanda de calefacción

Igual que para la demanda térmica también es necesario unos datos preliminares.

- Transmitancia térmica,  $U$ : Es la cantidad de energía que atraviesa, en la unidad de tiempo, una unidad de superficie de caras paralelas cuando entre dichas caras hay un gradiente térmico. Típicamente se le da un valor de  $1.1 \text{ W/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$ .
- Superficie en planta local,  $5300\text{m}^2$ .
- Temperatura ambiente media diaria de cada mes.
- Temperatura de confort de cada mes.

Con estos datos se puede calcular la demanda de calefacción.

- Coeficiente global de pérdidas de calor,  $UA$ :

**Eq. 5:**

$$UA = U \cdot \text{Superficie planta}$$

- Grados día/mes:

**Eq. 6:**

$$\text{Grados día/mes} = (15 - T_{\text{ambiente media diaria}}) \cdot n^{\circ} \text{ días del mes}$$

- Energía de calefacción,  $Q_{\text{calefacción}}$ :

**Eq. 7:**

$$Q_{\text{calefacción}} = \text{Grados día/mes} \cdot UA$$

La demanda térmica para la ciudad de Denia por mes es:

Agua Caliente Sanitaria (ACS)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Nº ocupantes ordenanzas=	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Nivel de ocupación=	0,35	0,35	1	1	1	1	1	1	1	1	0,35	0,35
Nº ocupantes reales=	70	70	200	200	200	200	200	200	200	200	70	70
Demanda por ocupante (l/día)=	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
T agua fría red (°C)=	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
T agua caliente consumo (°C)=	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Incremento temperatura (°C)=	52	51	49	47	46	45	44	45	46	47	49	52
Demanda total diaria (l/día)=	1540	1540	4400	4400	4400	4400	4400	4400	4400	4400	1540	1540
Temperatura mínima (°C)=	-16	Propilenglicol										
Anticongelante=	Propilenglicol											
Concentración necesaria (%)=	10											
cp-primario (J/kg·°C)=	3,716	3,716	3,716	3,716	3,716	3,716	3,716	3,716	3,716	3,716	3,716	3,716
r-primario (kg/m³)=	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048
Energía, A.C.S.(MJ/día)=	3,119E+02	3,059E+02	8,396E+02	8,045E+02	7,882E+02	7,711E+02	7,539E+02	7,711E+02	7,882E+02	8,054E+02	2,939E+02	3,119E+02
Número días/mes	31	28,25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Energía, A.C.S.(MJ/mes)=	9,668E+03	8,641E+03	2,603E+04	2,416E+04	2,443E+04	2,313E+04	2,337E+04	2,390E+04	2,365E+04	2,497E+04	8,816E+03	9,668E+03
<b>Calefacción</b>												
U (W/m²·°C)=	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Superficie en planta local (m²)=	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300
UA (W/K)=	5830	5830	5830	5830	5830	5830	5830	5830	5830	5830	5830	5830
Tambiente media diaria (°C)=	11	12	14,5	16	19	23	25,5	26	23,5	20	14,5	12,1
Temperatura confort (°C)=	21,0	21,0	21,0	22,0	22,0	23,0	23,0	23,0	22,0	21,0	21,0	21,0
Grados día/mes (°Cxdías)	124,0	84,8	15,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	89,9
Qcalefacción (MJ/mes)	62460,3	42689,6	7807,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7555,7	45283,7
<b>ACS+Calefacción</b>												
Qtotal (MJ/mes)=	7,213E+04	5,133E+04	3,384E+04	2,416E+04	2,443E+04	2,313E+04	2,337E+04	2,390E+04	2,365E+04	2,497E+04	1,637E+04	5,495E+04

Fig. 6: Tabla de demanda térmica

### ❖ Cálculo del número de colectores

Para calcular el número de colectores lo más apropiado es utilizar un proceso de cálculo llamado F-Chart, que usa correlaciones empíricas para el cálculo de la cobertura solar  $f$ .

#### 1. Datos de partida:

- Consumo de agua por persona y día.
- Temperatura de utilización final de agua (30–70 °C).
- Emplazamiento: Ubicación de colectores (orientación, inclinación).
- Exposición media mensual sobre superficie inclinada-orientada.
- Temperatura ambiente media mensual.
- Temperatura del agua fría de red.
- Características de los colectores.
- Demanda térmica mensual.

La secuencia que suele seguirse en el cálculo es la siguiente:

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de A.C.S. o calefacción.
2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
3. Cálculo del parámetro  $Y$ .
4. Cálculo del parámetro  $X$ .
5. Determinación de la gráfica  $f$ .
6. Valoración de la cobertura solar mensual.
7. Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas.

#### 2. Cálculo de la fracción solar mensual:

Hay dos formas de calcularla, es recomendable utilizar la segunda manera al ser más precisa.

**Eq. 1:**

$$f_{\text{mensual}} = \frac{\text{Energía solar aportada al mes}}{\text{Demanda térmica mensual}}$$

**Eq. 2:**

$$f_{\text{mensual}} = 1,029*Y - 0,065* X - 0,245*Y^2 + 0,0018* X^2 + 0,0215*Y^3$$

Donde:

**Parámetro Y:**

Tiene una restricción de  $0 < Y < 3$ .

**Eq. 3:**

$$Y = \frac{\text{Energía solar incidente útil}}{\text{Carga térmica}} = \frac{K*Fr(\tau\alpha)*\left(\frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n}\right)*H_m^G(s,g)*N*Ac}{Q}$$

K: 1

Fr( $\tau\alpha$ ): Rendimiento óptico del colector.

$\frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n}$ : Modificador del ángulo de incidencia (0.96 captador de

una cubierta y 0.94 de doble cubierta).

$H_m^G$ : Exposición global media diaria.

N: Número de días del mes.

Q: Demanda térmica total mensual.

Ac: Superficie colectora.

**Parámetro X:**

Tiene una restricción de  $0 < X < 18$ .

**Eq. 4:**

$$X = \frac{\text{Pérdidas en colectores}}{\text{Carga térmica}} = \frac{K*(Fr*U_L)*(100-T_a)*\Delta t*Ac}{Q}$$

Fr\* $U_L$ : Coeficiente global de pérdidas del colector.

$T_a$ : Temperatura ambiente media mensual.



$\Delta t$ : Número de segundos al meS.

### 3. Correcciones

Es necesario realizar una serie de correcciones a los parámetros anteriores para adecuarlos a la instalación.

- Corrección por temperatura de uso,  $C_t$ :

Eq. 5:

$$C_t = \frac{X_T}{X} = \frac{11.6 + 1.18 \cdot T_c + 3.86 \cdot T_f - 2.32 \cdot T_a}{100 - T_a}$$

- Corrección por volumen de almacenamiento,  $C_v$ :

Eq. 6:

$$C_v = \frac{X_v}{X} = \left(\frac{V}{75}\right)^{-0.25}$$

Siendo: V la relación de acumulación;  $30 \text{ l/m}^2 < V < 300 \text{ l/m}^2$ .

- Corrección por eficiencia de intercambio agua-aire,  $C_i$ :

Eq. 7:

$$C_i = \frac{Y_l}{Y} = 0.39 + 0.65 e^{\left(\frac{-1.39}{\varepsilon_l \cdot C_{\min}} \cdot \frac{U \cdot A}{U \cdot A}\right)}$$

$\varepsilon_l$ : Eficiencia del intercambiador agua-aire.

$C_{\min}$ : Mínimo valor del Cp de los dos fluidos.

UA: Coeficiente global de pérdidas de calor.

### 4. Cálculo de la fracción solar anual.

Una vez calculada la cobertura mensual, y aplicadas las correcciones se calcula la cobertura anual.

- Energía solar al mes,  $Q_{\text{cont. mes}}$ :

**Eq. 8:**

$$Q_{\text{cont. mes}} = Q_{\text{total mes}} * f_{\text{mensual}}$$

- Fracción solar anual,  $f_{\text{anual}}$ :

**Eq. 9:**

$$f_{\text{anual}} = \sum Q_{\text{cont. mes}} * \sum Q_{\text{total mes}}$$

A continuación se demuestra que  $f_{\text{anual}}=0,67$  supera el mínimo exigido por el CTE.

Con los datos del colector escogido y de las exposiciones solares de Denia, se obtienen los siguientes resultados.

<b>Parámetros del colector solar:</b>		
Tipo colector	Chapa y tubos	
Inclinación, $b$ [°, rad]	39	
Orientación $g$ [°, rad]	0,0	
Área de captación del colector [m <sup>2</sup> ]	3,6	
Dimensiones externas colector (anchoxalto) [m]	2,51	1,48
Área externa colector [m <sup>2</sup> ]	3,71	
Número colectores	16	
Área útil campo de colectores $A_c$ [m <sup>2</sup> ]	57,6	
Recta de eficiencia colector: $\eta = F_R(\tau\alpha)_N - F_R \cdot U_L(T_f - T_a)/G_s = a + b(T_f - T_a)/G_s$		
Rendimiento óptico, $F_R \cdot (\tau\alpha)_N$	0,78	
Modificador del ángulo de incidencia, $(\tau\alpha)_{medio}/(\tau\alpha)_N$	0,96	
$F_R \cdot U_L$ [W/m <sup>2</sup> · K]	0,444	
Factor de corrección captador-intercambiador, $F_R'/F_R$	0,95	
Caudal por unidad de área de colector [50 a 120 l/h m <sup>2</sup> ]	50	
Caudal total por campo colectores [l/h] (sin tener en cuenta las conexiones)	921,6	
<b>VOLUMEN ACUMULADOR</b>		
Volumen almacenamiento por m <sup>2</sup> colector [entre 50 y 100 l/m <sup>2</sup> ]	75	
Volumen total acumulador [m <sup>3</sup> ]	4320	

Fig. 7: Tabla de cálculo de volumen acumulad

Meses	Días del mes	seg/mes	$H_{G_m}(\beta, g)$ [MJ/m <sup>2</sup> -día]	T <sub>media mensual</sub> [°C]	(100-T <sub>media</sub> ) [°C]	Q <sub>TOTAL</sub> [MJ/mes]
Enero	31	2.678.400	18,07	11,0	89,0	72.128
Febrero	28,25	2.440.800	18,96	12,0	88,0	51.330
Marzo	31	2.678.400	21,16	14,5	85,5	33.836
Abril	30	2.592.000	23,19	16,0	84,0	24.161
Mayo	31	2.678.400	26,07	19,0	81,0	24.435
Junio	30	2.592.000	25,69	23,0	77,0	23.133
Julio	31	2.678.400	26,63	25,5	74,5	23.372
Agosto	31	2.678.400	23,79	26,0	74,0	23.904
Septiembre	30	2.592.000	28,83	23,5	76,5	23.647
Octubre	31	2.678.400	30,73	20,0	80,0	24.966
Noviembre	30	2.592.000	16,54	14,5	85,5	16.372
Diciembre	31	2.678.400	15,21	12,1	87,9	54.951

$P_x$ [m <sup>-2</sup> ]	$P_y$ [m <sup>-2</sup> ]	Corrección por temperatura de uso, Ct	Corrección por volumen de almacenamiento, Cv	Corrección por eficiencia de intercambio agua-aire, CI	$P'_x$	$P'_y$	$X=P'_x.A_c$	$Y=P'_y.A_c$	f_mensual	Q <sub>CONTRIBUCIÓN SOLAR</sub> (MJ/mes)	Q <sub>TOTAL</sub> [MJ/año]	f_anual ( $\sum f_i Q_i$ )/ $\sum Q_i$
0,0017	0,0044	0,8897	1,000	1,000	0,0015	0,0044	0,12	0,35	0,319	19644	352091	0,702
0,0020	0,0055	0,8766			0,0018	0,0055	0,14	0,44	0,394	18591		
0,0029	0,0078	0,8549			0,0025	0,0078	0,20	0,61	0,532	18975		
0,0051	0,0195	0,8201			0,0042	0,0195	0,33	1,54	1,061	20049		
0,0051	0,0221	0,7667			0,0039	0,0221	0,31	1,75	1,147	21935		
0,0049	0,0234	0,6969			0,0034	0,0234	0,27	1,86	1,185	21479		
0,0049	0,0245	0,6319			0,0031	0,0245	0,24	1,94	1,216	22278		
0,0047	0,0224	0,6228			0,0029	0,0224	0,23	1,78	1,160	21719		
0,0048	0,0259	0,6715			0,0032	0,0259	0,25	2,05	1,249	23112		
0,0049	0,0262	0,7551			0,0037	0,0262	0,29	2,08	1,254	24486		
0,0047	0,0121	0,8342			0,0039	0,0121	0,31	0,96	0,761	15830		
0,0019	0,0047	0,8815			0,0017	0,0047	0,13	0,37	0,339	18906		

Fig. 8: Tabla del método F-Chart.

### Restricciones a cumplir

Además, con estos cálculos se puede observar que se cumplen los requisitos básicos del método:

- En ningún mes se aporta más del 110% de la demanda energética
- No se aporta el 100% de la demanda energética durante tres meses seguidos

Tabla I				
Exposición media diaria anual sobre superficie horizontal				
Zona climática	MJ/m <sup>2</sup>		kWh/m <sup>2</sup>	
	Min	Max	Min	Max
I	<13,7		<3,8	
II	13,7	15,1	3,8	4,2
III	15,1	16,6	4,2	4,6
IV	16,6	18,0	4,6	5,0
V	>18,0		>5,0	

Tabla II: f anual mínimo						
Si fuente energética de apoyo: gasóleo, propano, gas natural, u otras						
Demanda total de ACS [l/d]		Zona Climática				
min	max	I	II	III	IV	V
50	5000	30	30	50	60	70
5000	6000	30	30	55	65	70
6000	7000	30	35	61	70	70
7000	8000	30	45	63	70	70
8000	9000	30	52	65	70	70
9000	10000	30	55	70	70	70
10000	12500	30	65	70	70	70
12500	15000	30	70	70	70	70
15000	17500	35	70	70	70	70
17500	20000	45	70	70	70	70
>20000		52	70	70	70	70

### ❖ Cálculo de potencia de los intercambiadores

Para ello debe conocerse previamente:

- $\Delta T$ : Diferencia de temperatura entre los líquidos del intercambiador.  
Se quiere que la temperatura baje de 70°C A 50°C,  $\Delta T = 70 - 50 = 20^\circ\text{C}$ .
- V: volumen del acumulador (dos acumuladores de 600 litros cada uno).

- $C_p$  del líquido. Es agua así que  $C_p = 4.18 \text{ J/kg-}^\circ\text{C}$ .
- T: Tiempo en disiparse el calor en la piscina (3 horas - 10800 segundos).

Lo primero que hay que calcular es la energía que necesita el intercambiador:

**Eq. 1:**

$$q = V * C_p * \Delta T = 1200 * 4.18 * (70-50) = 100320 \text{ kJ}$$

Ahora ya se puede calcular la potencia necesaria del intercambiador:

**Eq. 2:**

$$P = \frac{q}{\Delta T} = \frac{100320}{10800} \approx 9,28 \text{ kW}$$

❖ **Cálculo del caudal de consumo**

El caudal de consumo de cada elemento viene dado en el Código Técnico de Edificación DB HE.

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría (dm <sup>3</sup> /s)	Caudal instantáneo mínimo de ACS (dm <sup>3</sup> /s)
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,1	0,065
Ducha	0,2	0,1
Bañera de 1,40 m o más	0,3	0,2
Bañera de menos de 1,40 m	0,2	0,15
Bidé	0,1	0,065
Inodoro con cisterna	0,1	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,2	0,1
Fregadero no doméstico	0,3	0,2
Lavavajillas doméstico	0,15	0,1
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,2
Lavadero	0,2	0,1
Lavadora doméstica	0,2	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,6	0,4
Grifo aislado	0,15	0,1
Grifo garaje	0,2	-
Vertedero	0,2	-

*Fig. 9: Tabla de consumo por elemento*

- Coeficiente de simultaneidad por vivienda,  $K_1$ :

**Eq. 1:**

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{N-1}}$$

N: Número de elementos.

- Coeficiente de simultaneidad por edificio,  $K_2$ :

**Eq. 2:**

$$K_2 = \frac{19+N}{10*(N+1)}$$

N: Número de viviendas.



Como el edificio tiene dos tipos de apartamentos, es necesario hacer el consumo y el coeficiente de simultaneidad por vivienda ( $K_1$ ) por separado, para después sumarlos y aplicar el coeficiente de simultaneidad por edificio.

<b>Consumo por vivienda</b>	$\text{dm}^3/\text{s}$
Bañera de menos de 1,40m	0,15
Bidé	0,065
Inodoro con cisterna	-
Lavabo	0,065
Lavadero	0,1
Lavadora doméstica	0,15
Fregadero doméstico	0,1
<b>Suma</b>	0,63 $\text{dm}^3/\text{s}$
	2268 l/h

<b>Consumo por dúplex</b>	$\text{dm}^3/\text{s}$
Bañera de menos de 1,40m	0,15
Bidé	0,065
2 inodoros con cisterna	-
2 lavabos	0,13
Lavadero	0,1
Lavadora doméstica	0,15
Fregadero doméstico	0,1
Ducha	0,1
<b>Suma</b>	0,795 $\text{dm}^3/\text{s}$
	2862 l/h

Número de elementos por vivienda	6
Coefficiente de simultaneidad K1	0,4472136
Número de elementos por dúplex	8
Coefficiente de simultaneidad K1	0,37796447
Número de viviendas total por edificio	16
Coefficiente de simultaneidad por edificio K2	0,20588235
<b>Consumo total (l/h)</b>	<b>3368,93421</b>

*Fig. 10: Tablas de consumo y coeficientes de simultaneidad*

❖ **Pérdidas de carga**

- Caudal global,  $Q_g$ :

**Eq. 1:**

$$Q_g = \frac{(Q * \text{área unitaria captador} * n^{\circ} \text{ captadores})}{n^{\circ} \text{ baterías en serie}}$$

$Q$ : 50 l/h. m<sup>2</sup>.

$N^{\circ}$  baterías en serie: 1 si están todas en paralelo.

- Caudal unitario,  $Q_u$ :

**Eq. 2:**

$$Q_u = \frac{Q_g}{n^{\circ} \text{ captadores}}$$

- Caudal por tramo de tubería,  $Q$ :

**Eq. 3:**

$$Q = n^{\circ} \text{ captadores conectados al tramo} * Q_u$$

- Velocidad,  $v$ :

**Eq. 4:**

$$v = \frac{Q}{r_{\text{interior}}^2 * \pi}$$

- Pérdidas de carga por metro,  $H_m$ :

**Eq. 5:**

$$H_m = \frac{v}{145}^{1,852} * d_{\text{interior}}^{-1.167}$$

- Pérdidas de carga por tramo de tubería,  $H_T$ :

**Eq. 6:**

$$H_T = H_m * \text{longitud de tramo}$$

- Pérdidas de cara en los colectores,  $H_c$ :

**Eq. 7:**

$$H_c = H_{\text{longitud del colector}} + H_m \text{ del colector} * (\text{n}^\circ \text{ de colectores por batería} * \text{longitud base del colector} * \text{n}^\circ \text{ baterías en serie})$$

La pérdida de carga en los distintos accesorios que componen la instalación se obtienen de la siguiente tabla (expresado en longitud equivalente en metros):

Diametro (mm)	Válv. Retención	Codos 90°	T	Válv. Esfera
12	1,200	0,370	0,530	0,150
15	1,500	0,420	0,600	0,180
18	1,800	0,480	0,670	0,210
22	2,400	0,610	0,900	0,270
28	3,600	0,790	1,100	0,300
35	4,200	1,000	1,520	0,460
42	4,800	1,200	1,750	0,540
54	6,100	1,500	2,200	0,700
63	7,600	1,800	2,650	0,850
80	9,100	2,300	3,350	0,980
100	10,700	2,700	3,900	1,200

*Fig. 11: Tabla de pérdidas de carga en accesorios*

### ❖ Pérdidas de carga por circuito y edificio

**Circuito primario edificio Este:**

Pérdidas de carga en tuberías y accesorios:

Número tramo	Número captadores	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro exterior (mm)	Velocidad (m/s)	Diámetro interior (mm)	mm.c.a./m	mm.c.a. tramo	mm.c.a. acumulado	Nº válv. retención	Nº codos	Nº T90	Nº válvulas esfera	Longitud equivalente (m)	Total tramo accesorios (mm.c.a.)
1	4	24,92	720	28	0,38	26	7,86	195,83	195,83	2	1	1	0	9,09	71
2	1	2,39	180	28	0,09	26	0,60	1,44	197,27	0	0	1	3	2,00	1
3	3	6,67	540	28	0,28	26	4,61	30,77	228,04	0	0	2	0	2,20	10
4	1	2,39	180	28	0,09	26	0,60	1,44	229,48	0	0	1	3	2,00	1
5	2	6,57	360	28	0,19	26	2,18	14,30	243,78	0	0	2	0	2,20	5
6	1	2,39	180	28	0,09	26	0,60	1,44	245,22	0	0	1	3	2	1
7	1	15,75	180	28	0,09	26	0,60	9,50	254,72	0	2	1	3	3,58	2
8	2	6,66	360	28	0,19	26	2,18	14,50	269,22	0	0	2	0	2,2	5
9	3	6,81	540	28	0,28	26	4,61	31,41	300,63	0	0	2	0	2,2	10
10	4	26,51	720	28	0,38	26	7,86	208,32	508,95	2	3	1	0	10,67	84

*Fig. 12a: Tabla de pérdidas de carga en tuberías y accesorios.*

Pérdidas de carga en los colectores:

Nº de colectores por batería	4
Longitud de la base del colector (m)	2,51
Diámetro de tubería exterior del colector	28
Caudal batería colectores	720
Pérdida de carga longitud del captador (mmca)	13,5
Velocidad (m/s)	0,38
Diámetro interior	26
mmca/m	7,86
Pérdidas de carga en colectores (mm.c.a.)	92

*Fig. 12b: Tabla de pérdidas de carga en los colectores.*

Total pérdidas de carga en tuberías = 508,95 mmca.

Total pérdidas en accesorios = 191 mmca.

Pérdidas de carga en intercambiador = 0 mmca (en el circuito primario no hay).

Pérdidas de carga en el interacumulador = 10000 mmca (típicamente)

Resumen:

Caudal (l/h.m <sup>2</sup> )	50	Todas en paralelo
Area unitaria captador	3,6	
Número de captadores	4	
Nº baterías en serie	1	
Caudal global (l/h)	720	
Caudal unitario (l/h)	180	
Pérdida de carga total (mmca)	1792	

*Fig. 12c: Tabla resumen de pérdidas de carga.*

**Circuito primario edificio Oeste:**

Pérdidas de carga en tuberías y accesorios:

Número tramo	Número captadores	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro exterior (mm)	Velocidad (m/s)	Diámetro interior (mm)	mm.c.a./m	mm.c.a. tramo	mm.c.a. acumulado	Nº válv. retención	Nº codos	Nº T90	Nº válvulas esfera	Longitud equivalente (m)	Total tramo accesorios (mm.c.a.)
1	4	21,41	720	28	0,38	26	7,86	168,25	168,25	2	1	1	0	9,09	71
2	1	4,77	180	28	0,09	26	0,60	2,88	171,12	0	0	1	3	2,00	1
3	3	7,49	540	28	0,28	26	4,61	34,55	205,67	0	0	2	0	2,20	10
4	1	4,77	180	28	0,09	26	0,60	2,88	208,55	0	0	1	3	2,00	1
5	2	7,2	360	28	0,19	26	2,18	15,67	224,22	0	0	2	0	2,20	5
6	1	4,77	180	28	0,09	26	0,60	2,88	227,10	0	0	1	3	2	1
7	1	19,46	180	28	0,09	26	0,60	11,73	238,83	0	2	1	3	3,58	2
8	2	7,35	360	28	0,19	26	2,18	16,00	254,83	0	0	2	0	2,2	5
9	3	7,4	540	28	0,28	26	4,61	34,13	288,96	0	0	2	0	2,2	10
10	4	29,24	720	28	0,38	26	7,86	229,78	518,74	2	3	1	0	10,67	84

*Fig. 13a: Tabla de pérdidas de carga en tuberías y accesorios.*

Pérdidas de carga en los colectores:

Nº de colectores por batería	4
Longitud de la base del colector (m)	2,51
Diámetro de tubería exterior del colector	28
Caudal batería colectores	720
Pérdida de carga longitud del captador (mmca)	13,5
Velocidad (m/s)	0,38
Diámetro interior	26
mmca/m	7,86
Pérdidas de carga en colectores (mm.c.a.)	92

*Fig. 13b: Tabla de pérdidas de carga en los colectores.*

Total pérdidas de carga en tuberías = 518,74 mmca.

Total pérdidas en accesorios = 191 mmca.

Pérdidas de carga en intercambiador = 0 mmca (en el circuito primario no hay).

Pérdidas de carga en el interacumulador = 10000 mmca (típicamente)

Resumen:

Caudal (l/h.m <sup>2</sup> )	50	Todas en paralelo
Area unitaria captador	3,6	
Número de captadores	4	
Nº baterías en serie	1	
Caudal global (l/h)	720	
Caudal unitario (l/h)	180	
Pérdida de carga total (mmca)	1802	

*Fig. 13c: Tabla resumen de pérdidas de carga.*

**Circuito primario edificio Norte:**

Pérdidas de carga en tuberías y accesorios:

Número tramo	Número captadores	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro exterior (mm)	Velocidad (m/s)	Diámetro interior (mm)	mm.c.a./m	mm.c.a. tramo	mm.c.a. acumulado	Nº válv. retención	Nº codos	Nº T90	Nº válvulas esfera	Longitud equivalente (m)	Total tramo accesorios (mm.c.a.)
1	4	23,61	720	28	0,38	26	7,86	185,54	185,54	2	3	1	0	10,67	84
2	1	10,34	180	28	0,09	26	0,60	6,24	191,77	0	3	1	3	4,37	3
3	3	5,8	540	28	0,28	26	4,61	26,75	218,52	0	0	2	0	2,20	10
4	1	4,55	180	28	0,09	26	0,60	2,74	221,27	0	2	1	3	3,58	2
5	2	5,68	360	28	0,19	26	2,18	12,36	233,63	0	0	2	0	2,20	5
6	1	4,55	180	28	0,09	26	0,60	2,74	236,38	0	2	1	3	3,58	2
7	1	10,3	180	28	0,09	26	0,60	6,21	242,59	0	3	1	3	4,37	3
8	2	5,86	360	28	0,19	26	2,18	12,76	255,34	0	0	2	0	2,2	5
9	3	5,78	540	28	0,28	26	4,61	26,66	282,00	0	0	2	0	2,2	10
10	4	16,4	720	28	0,38	26	7,86	128,88	410,88	2	2	1	0	9,88	78

*Fig. 14a: Tabla de pérdidas de carga en tuberías y accesorios.*

Pérdidas de carga en los colectores:

Nº de colectores por batería	4
Longitud de la base del colector (m)	2,51
Diámetro de tubería exterior del colector	28
Caudal batería colectores	720
Pérdida de carga longitud del captador (mmca)	13,5
Velocidad (m/s)	0,38
Diámetro interior	26
mmca/m	7,86
<b>Pérdidas de carga en colectores (mm.c.a.)</b>	<b>92</b>

*Fig. 14b: Tabla de pérdidas de carga en los colectores.*



Total pérdidas de carga en tuberías = 410,88 mmca.

Total pérdidas en accesorios = 201 mmca.

Pérdidas de carga en intercambiador = 0 mmca (en el circuito primario no hay).

Pérdidas de carga en el interacumulador = 10000 mmca (típicamente)

Resumen:

Caudal (l/h.m <sup>2</sup> )	50	Todas en paralelo
Area unitaria captador	3,6	
Número de captadores	4	
Nº baterías en serie	1	
Caudal global (l/h)	720	
Caudal unitario (l/h)	180	
Pérdida de carga total (mmca)	1704	

*Fig. 14c: Tabla resumen de pérdidas de carga.*

**Circuito primario edificio Sur:**

Pérdidas de carga en tuberías y accesorios:

Número tramo	Número captadores	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro exterior (mm)	Velocidad (m/s)	Diámetro interior (mm)	mm.c.a./m	mm.c.a. tramo	mm.c.a. acumulado	Nº válv. retención	Nº codos	Nº T90	Nº válvulas esfera	Longitud equivalente (m)	Total tramo accesorios (mm.c.a.)
1	4	24,69	720	28	0,38	26	7,86	194,02	194,02	2	3	1	0	10,67	84
2	1	9,25	180	28	0,09	26	0,60	5,58	199,60	0	3	1	3	4,37	3
3	3	5,8	540	28	0,28	26	4,61	26,75	226,35	0	0	2	0	2,20	10
4	1	3,47	180	28	0,09	26	0,60	2,09	228,45	0	2	1	3	3,58	2
5	2	5,79	360	28	0,19	26	2,18	12,60	241,05	0	0	2	0	2,20	5
6	1	3,47	180	28	0,09	26	0,60	2,09	243,14	0	2	1	3	3,58	2
7	1	9,27	180	28	0,09	26	0,60	5,59	248,73	0	3	1	3	4,37	3
8	2	5,79	360	28	0,19	26	2,18	12,60	261,34	0	0	2	0	2,2	5
9	3	5,77	540	28	0,28	26	4,61	26,61	287,95	0	0	2	0	2,2	10
10	4	20,42	720	28	0,38	26	7,86	160,47	448,42	2	2	1	0	9,88	78

*Fig. 15a: Tabla de pérdidas de carga en tuberías y accesorios.*

Pérdidas de carga en los colectores:

Nº de colectores por batería	4
Longitud de la base del colector (m)	2,51
Diámetro de tubería exterior del colector	28
Caudal batería colectores	720
Pérdida de carga longitud del captador (mmca)	13,5
Velocidad (m/s)	0,38
Diámetro interior	26
mmca/m	7,86
<b>Pérdidas de carga en colectores (mm.c.a.)</b>	<b>92</b>

*Fig. 15b: Tabla de pérdidas de carga en los colectores.*

Total pérdidas de carga en tuberías = 448,42 mmca.

Total pérdidas en accesorios = 201 mmca.

Pérdidas de carga en intercambiador = 0 mmca (en el circuito primario no hay).

Pérdidas de carga en el interacumulador = 10000 mmca (típicamente)

Resumen:

Caudal (l/h.m <sup>2</sup> )	50	Todas en paralelo
Area unitaria captador	3,6	
Número de captadores	4	
Nº baterías en serie	1	
Caudal global (l/h)	720	
Caudal unitario (l/h)	180	
Pérdida de carga total (mmca)	1742	

*Fig. 15c: Tabla resumen de pérdidas de carga.*

**Circuito secundario edificios Este y Oeste:**

Pérdidas de carga en tuberías y accesorios:

Número tramo	Número captadores	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro exterior (mm)	Velocidad (m/s)	Diámetro interior (mm)	mm.c.a./m	mm.c.a. tramo	mm.c.a. acumulado	Nº válv. retención	Nº codos	Nº T90	Nº válvulas esfera	Longitud equivalente (m)	Total tramo accesorios (mm.c.a.)
1	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84	9,84	0	1	1	0	2,52	6
2	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84	19,68	0	0	1	0	1,52	4
3	4	42,26	720	35	0,23	33	2,46	103,97	123,65	0	0	9	0	13,68	34
4	4	42,26	720	35	0,23	33	2,46	103,97	227,63	0	0	9	0	13,68	34
5	4	2	720	35	0,23	33	2,46	4,92	232,55	0	0	1	0	1,52	4
6	4	1	720	35	0,23	33	2,46	2,46	235,01	0	0	1	0	1,52	4
7	4	1	720	35	0,23	33	2,46	2,46	237,47	0	1	0	0	1	2
8	4	2	720	35	0,23	33	2,46	4,92	242,39	0	0	0	0	0	0
9	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84	252,23	0	1	0	0	1	2
10	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84	262,07	0	1	0	0	1	2
11	4	34,56	720	35	0,23	33	2,46	85,03	347,10	0	1	1	0	2,52	6
12	4	15,69	720	35	0,23	33	2,46	38,60	385,70	0	1	1	0	2,52	6
13	4	16,18	720	35	0,23	33	2,46	39,81	425,51	1	5	3	4	15,6	38
14	4	6,77	720	35	0,23	33	2,46	16,66	442,16	0	0	1	0	1,52	4
15	4	9,25	720	35	0,23	33	2,46	22,76	464,92	2	2	1	0	11,92	29

*Fig. 16a: Tabla de pérdidas de carga en tuberías y accesorios.*

Pérdidas de carga en colectores = 0 mmca

Total pérdidas de carga en tuberías = 464,92 mmca.

Total pérdidas en accesorios = 147 mmca.

Pérdidas de carga en intercambiador = 1400 mmca (de tablas del fabricante, 700 mmca por intercambiador).

Pérdidas de carga en el interacumulador = 0 mmca.

Resumen:

Caudal (l/h.m <sup>2</sup> )	50	Todas en paralelo
Area unitaria captador	3,6	
Número de captadores	4	
Nº baterías en serie	1	
Caudal global (l/h)	720	
Caudal unitario (l/h)	180	
Pérdida de carga total (mmca)	2012	

*Fig. 16b: Tabla resumen de pérdidas de carga.*

Como la disposición de los edificios para el circuito secundario es igual para ambos edificios, las pérdidas de carga son iguales por edificio.

**Circuito secundario edificios Norte y Sur:**

Pérdidas de carga en tuberías y accesorios:

Número tramo	Número captadores	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro exterior (mm)	Velocidad (m/s)	Diámetro interior (mm)	mm.c.a./ m	mm.c.a. tramo	mm.c.a. acumulado	Nº válv. retención	Nº codos	Nº T90	Nº válvulas esfera	Longitud equivalente (m)	Total tramo accesorios (mm.c.a.)
1	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84	9,84	0	1	1	0	2,52	6
2	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84	19,68	0	0	1	0	1,52	4
3	4	42,26	720	35	0,23	33	2,46	103,97	123,65	0	0	9	0	13,68	34
4	4	42,26	720	35	0,23	33	2,46	103,97	227,63	0	0	9	0	13,68	34
5	4	2	720	35	0,23	33	2,46	4,92	232,55	0	0	1	0	1,52	4
6	4	1	720	35	0,23	33	2,46	2,46	235,01	0	0	1	0	1,52	4
7	4	1	720	35	0,23	33	2,46	2,46	237,47	0	1	0	0	1	2
8	4	2	720	35	0,23	33	2,46	4,92	242,39	0	0	0	0	0	0
9	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84	252,23	0	1	0	0	1	2
10	4	4	720	35	0,23	33	2,46	9,84	262,07	0	1	0	0	1	2
11	4	22,75	720	35	0,23	33	2,46	55,97	318,04	0	1	1	0	2,52	6
12	4	27,5	720	35	0,23	33	2,46	67,66	385,70	0	1	1	0	2,52	6
13	4	16,18	720	35	0,23	33	2,46	39,81	425,51	1	5	3	4	15,6	38
14	4	6,77	720	35	0,23	33	2,46	16,66	442,16	0	0	1	0	1, 52	4
15	4	9,25	720	35	0,23	33	2,46	22,76	464,92	2	2	1	0	11, 92	29

*Fig. 17a: Tabla de pérdidas de carga en tuberías y accesorios.*

Pérdidas de carga en colectores = 0 mmca

Total pérdidas de carga en tuberías = 464,92 mmca.

Total pérdidas en accesorios = 147 mmca.

Pérdidas de carga en intercambiador = 1400 mmca (de tablas del fabricante, 700 mmca por intercambiador).

Pérdidas de carga en el interacumulador = 0 mmca.

Resumen:

Caudal (l/h.m <sup>2</sup> )	50	Todas en paralelo
Area unitaria captador	3,6	
Número de captadores	4	
Nº baterías en serie	1	
Caudal global (l/h)	720	
Caudal unitario (l/h)	180	
Pérdida de carga total (mmca)	2012	

*Fig. 17b: Tabla resumen de pérdidas de carga.*

Como la disposición de los edificios para el circuito secundario es igual para ambos edificios, las pérdidas de carga son iguales por edificio.

Se puede apreciar que aunque tengan distribución distinta, la longitud final de los circuitos secundarios son todos iguales y con los mismos accesorios, por lo que las pérdidas globales son iguales.

### ❖ Dimensionado de la bomba circuito primario

La potencia de la bomba puede calcularse a través de la siguiente ecuación:

Eq. 1:

$$W = \frac{C * \Delta P}{\rho * \eta}$$

W: potencia de la bomba (W)

C: Caudal (kg/s)

$\Delta P$ : pérdida de carga total

(tuberías+colectores+intercambiador+interacumulador)

$\rho$ : densidad del fluido (995kg/cm<sup>3</sup> obtenido de la Fig. 11 con concentración del 10%)

$\eta$ : rendimiento bomba (se estima en torno al 25%)

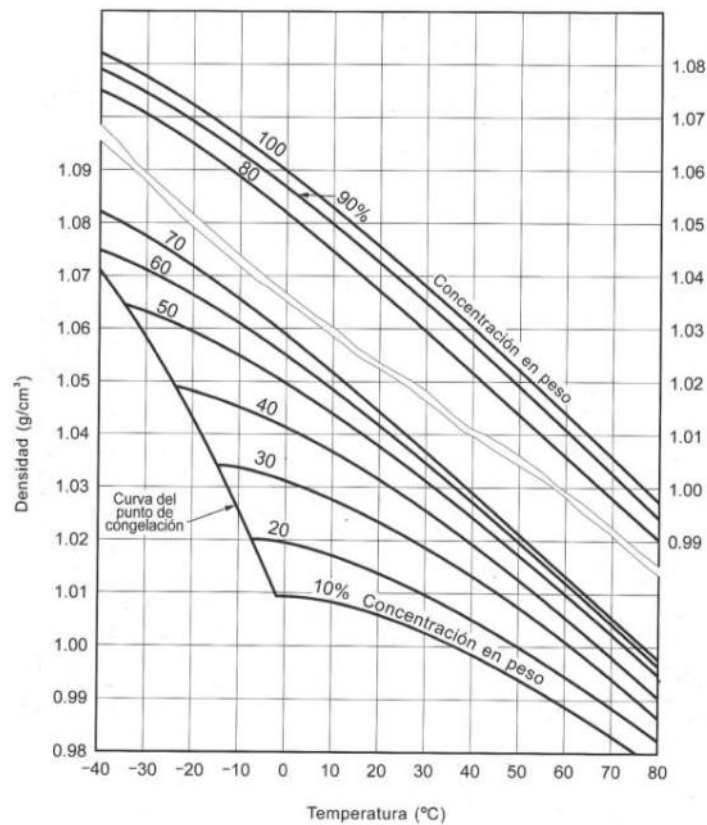


Fig. 18: Densidad de una disolución de propilenglicol en función de la temperatura.



Caudal: 720l/h, pasado a kg/s con la densidad de 985kg/m<sup>3</sup>= 0,2kg/s

$\Delta P$ : se utiliza la del edificio de más pérdida de carga, el edificio Oeste con 1,802 mca, que equivale a 17659,6 Pascales (1 mca=9800 Pa)

Por lo tanto:

$$W = \frac{0.2 \cdot 17659,6}{995 \cdot 0,25} = 14,19W$$

Para el circuito secundario incluyendo la piscina:

La única condición que cambia con respecto al sistema primario es la densidad del agua (1000kg/cm<sup>3</sup>) y las pérdidas de carga.

$\Delta P$ : se utiliza la del edificio de más pérdida de carga, con 2,012 mca, que equivale a 19717,6 Pascales (1 mca=9800 Pa)

$$W = \frac{0.2 \cdot 19717,6}{1000 \cdot 0,25} = 15,77W$$

#### ❖ Cálculo del vaso de expansión

- Volumen útil, Vu:

**Eq. 1:**

$$V_u = C_e \cdot V$$

$C_e$ : Coeficiente de expansión.

$V$ : Volumen de fluido en el circuito.

- Coeficiente de expansión,  $C_e$ :

Depende de si por el circuito circula solamente agua o mezcla de agua con anticongelante.

Si solo circula agua:

**Eq. 2:**

$$C_e = (3,24 \cdot T_{\max}^2 + 102,13 \cdot T_{\max} - 2708,3) \cdot 10^{-6}$$

Si por el contrario el fluido es mezcla de agua y anticongelante, hay que multiplicarlo por un factor de corrección.

**Eq. 3:**

$$C_e = C_{e_{\text{agua}}} * (a * (1,8 * T_{\text{max}} + 32)^b)$$

Siendo:

$$a = -0,0134 * (G^2 - 143,8 * G + 1918,2)$$

$$b = 3,5 * 10^{-4} * (G^2 - 94,57 * G + 500)$$

G: Porcentaje de concentración del anticongelante.

Debido a la baja concentración de anticongelante necesario por las condiciones climáticas del emplazamiento, el cálculo del vaso mediante las fórmulas daría negativo y no sería necesario. De todas formas por seguridad como se mencionó en la descripción del vaso de expansión se utilizará el volumen de dilatación, como mínimo, igual al 4,3 % del volumen total de fluido en el circuito primario.

$$C_e \text{ de todos los edificios} = 0,043$$

- Coeficiente de presión,  $C_p$ :

**Eq. 4:**

$$C_p = \frac{P_{\text{max}} + 1}{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}} = \frac{9 + 1}{9 - 0.5} = 1,1764$$

$$P_{\text{min}}: 0.5 + P_{\text{est}}$$

- Volumen del vaso de expansión,  $V_T$ :

**Eq. 5:**

$$V_T = V * C_e * C_p$$

Para el cálculo del vaso de expansión es necesario por lo tanto conocer el volumen total que contiene el circuito primario de cada edificio:

Edificio NORTE		
Longitud	Diámetro interior	
23,61	26	12534867,7
10,34	26	5489645,59
5,8	26	3079298,3
4,55	26	2415656,43
5,68	26	3015588,68
4,55	26	2415656,43
10,3	26	5468409,05
5,86	26	3111153,11
5,78	26	3068680,03
16,4	26	8706981,4
Volumen total (mm <sup>3</sup> )		49305936,7
Volumen total (l)		49,3059367

*Fig. 19a: Volumen circuito primario edificio Norte.*

Edificio ESTE		
Longitud	Diámetro interior	
24,92	26	13230364,4
2,39	26	1268883,27
6,67	26	3541193,05
2,39	26	1268883,27
6,58	26	3493410,83
2,39	26	1268883,27
15,75	26	8361887,63
6,66	26	3535883,91
6,81	26	3615520,94
26,51	26	14074516,9
Volumen total (mm <sup>3</sup> )		53659427,4
Volumen total (l)		53,6594274

*Fig. 19b: Volumen circuito primario edificio Este.*

Edificio OESTE		
Longitud	Diámetro interior	
21,41	26	11366858
4,77	26	2532457,4
7,49	26	3976542,12
4,77	26	2532457,4
7,32	26	3886286,82
4,77	26	2532457,4
19,46	26	10331576,7
7,35	26	3902214,23
7,4	26	3928759,9
29,24	26	15523910,7
Volumen total (mm <sup>3</sup> )		60513520,7
Volumen total (l)		60,5135207

**Fig. 19c:** Volumen circuito primario edificio Oeste.

Edificio SUR		
Longitud	Diámetro interior	
24,69	26	13108254,3
9,25	26	4910949,88
5,8	26	3079298,3
3,47	26	1842269,85
5,79	26	3073989,17
3,47	26	1842269,85
9,27	26	4921568,15
5,79	26	3073989,17
5,77	26	3063370,9
20,42	26	10841253,7
Volumen total (mm <sup>3</sup> )		49757213,2
Volumen total (l)		49,7572132

**Fig. 19d:** Volumen circuito primario edificio Sur.

$V_T$  edificio Norte:

$$V_{T(\text{NORTE})} = 49,306 * 1,1764 * 0,43 = 2,49 \text{ litros.}$$

$V_T$  edificio Este:

$$V_{T(\text{ESTE})} = 53,659 * 1,1764 * 0,43 = 2,71 \text{ litros.}$$

$V_T$  edificio Oeste:

$$V_{T(OESTE)} = 60,51 * 1,1764 * 0,43 = 3,061 \text{ litros.}$$

$V_T$  edificio Sur:

$$V_{T(SUR)} = 49,75 * 1,1764 * 0,43 = 2,52 \text{ litros.}$$

## Bibliografía

[CTE07] Ministerio de vivienda, *Código Técnico de Edificación, Sección HE-4*, 2007.

[FERN08] Fernández Salgado, José María. *Compendio de Energía Solar*. Editorial AMV EDICIONES.

[ALAI81] Aláiz Fernández, Enrique. *Energía Solar, Cálculo y diseño de instalaciones*. Sección de Publicaciones de la E.T.S. de Ingenieros Industriales, 1981.

[MORC09] Morcillo Rigaud, Manuel. *Energía Solar a baja temperatura*. Apuntes de CFESolar, Centro de Formación en Energía Solar, 2009

## Web-Grafía

CENSOLAR

[www.censolar.es](http://www.censolar.es)

Solarweb

[www.solarweb.es](http://www.solarweb.es)

Winter S.A., fabricantes de colectores solares.

[www.wintersa.com](http://www.wintersa.com)

Ariston, fabricante de acumuladores de calor.

[www.ariston.com](http://www.ariston.com)

Euro Cobil, fabricante de intercambiadores de calor.

[www.euro-cobil.com](http://www.euro-cobil.com)

SALVADOR ESCODA S.A., fabricante de vasos de expansión.

[www.salvadorescoda.com](http://www.salvadorescoda.com)

WILO IBÉRICA S.A., fabricante de bombas hidráulicas.

[www.wilo.es](http://www.wilo.es)

2

PLANOS

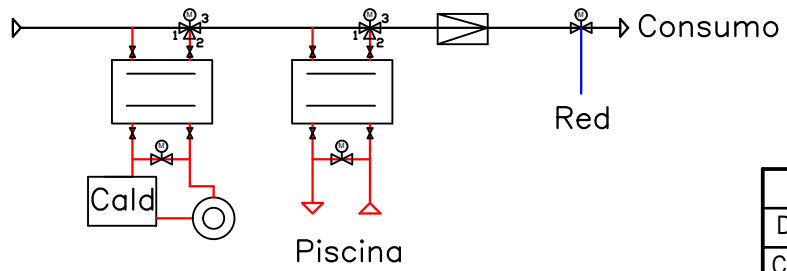
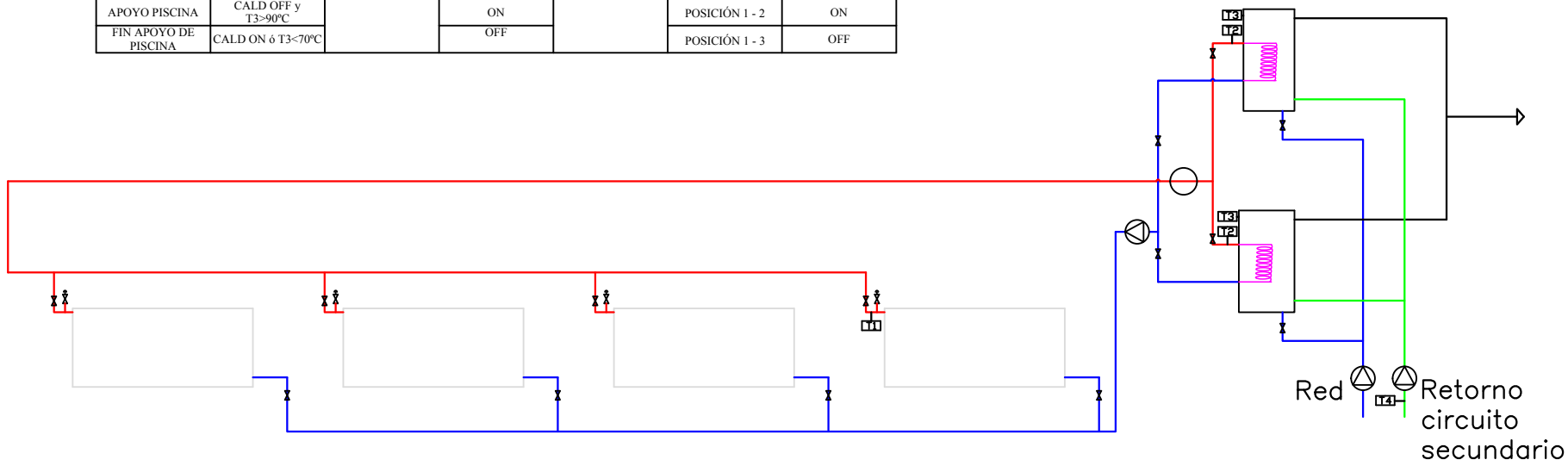
---

---

<b>2. Planos.....</b>	<b>2</b>
2.1. Plano de esquema de principio.....	2
2.2. Plano planta general circuito primario.....	3
2.3. Plano de tramos del circuito secundario, edificio Norte y Sur.....	4
2.4. Plano de tramos del circuito secundario, edificios Este y Oeste.....	5
2.5. Plano de sombras planta general.....	6
2.6. Plano del circuito primario, edificio Norte.....	7
2.7. Plano del circuito primario, edificio Este.....	8
2.8. Plano del circuito primario, edificio Oeste.....	9
2.9. Plano del circuito primario, edificio Sur.....	10
2.10. Plano del circuito secundario, edificio Norte (planta).....	11
2.11. Plano del circuito secundario, edificios Este (planta).....	12
2.12. Plano del circuito secundario, edificios Oeste (planta).....	13
2.13. Plano del circuito secundario, edificios Sur (planta).....	14
2.14. Plano de ubicación.....	15



REGULACIÓN						
FUNCIÓN	CONDICIONES	EQUIPOS				
		BOMBA PRIMARIO	BOMBA RETORNO SECUNDARIO	VÁLVULA MOTORIZADA CALEFACCIÓN	VÁLVULA MOTORIZADA PISCINA	BOMBA DEPURADORA PISCINA
SOLAR - ACUMULADORES	$T1 > T2 + 8^{\circ}\text{C}$	ON				
FIN SOLAR - ACUMULADORES	$T1 < T2 + 4^{\circ}\text{C}$ ó $T2 > 85^{\circ}\text{C}$ ó $T3 > 90^{\circ}\text{C}$	OFF				
RECIRCULAR ACS SECUNDARIO	$T4 < 40^{\circ}\text{C}$		ON			
FIN RECIRCULAR ACS SECUNDARIO	$T4 > 50^{\circ}\text{C}$		OFF			
APOYO DE CALEFACCIÓN	CALD ON y $T3 > 45^{\circ}\text{C}$		ON	POSICIÓN 1 - 2		
FIN APOYO DE CALEFACCIÓN	CALD OFF ó $T3 < 45^{\circ}\text{C}$		OFF	POSICIÓN 1 - 3		
APOYO PISCINA	CALD OFF y $T3 > 90^{\circ}\text{C}$		ON		POSICIÓN 1 - 2	ON
FIN APOYO DE PISCINA	CALD ON ó $T3 < 70^{\circ}\text{C}$		OFF		POSICIÓN 1 - 3	OFF

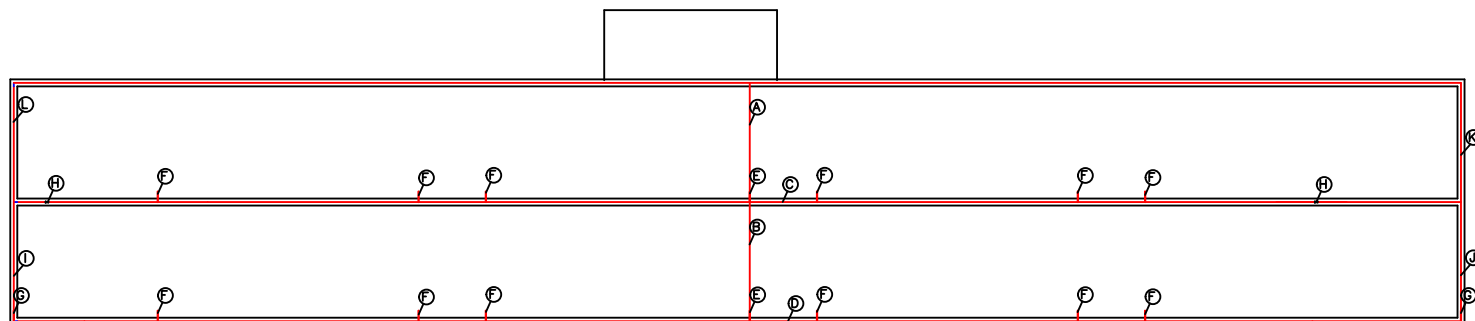


-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Ríaza V.		Escala:	
Comprob.	-	María C. Gómez		-	
Conjunto:				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura					
Título:				Plano N°.: 1-E.P	
ESQUEMA PRINCIPIO					



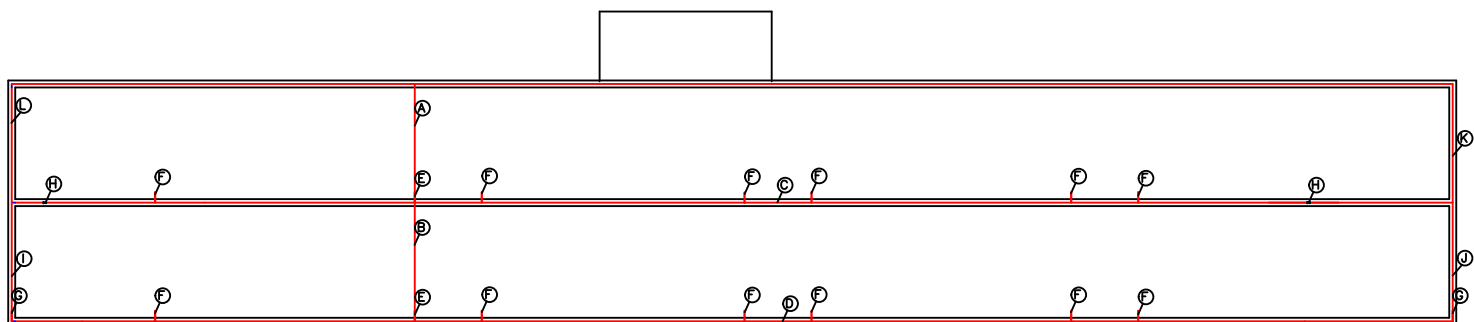
-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Ríaza V.		Escala:	
Comprob.	-	María C. Gómez		1:350	
Conjunto:				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura					
Título:				Plano N°:	1.PG
PLANTA GENERAL:PRIMARIO					

Tabla circuito primario				
Tramo	L(m)	Codos	T90	Válv.
A	4	1	1	0
B	4	0	1	0
C	42.26	0	9	0
D	42.26	0	9	0
E	2	0	1	0
F	1	0	1	0
G	1	1	0	0
H	2	0	0	0
I	4	1	0	0
J	4	1	0	0
K	22.75	1	1	0
L	27.5	1	1	0

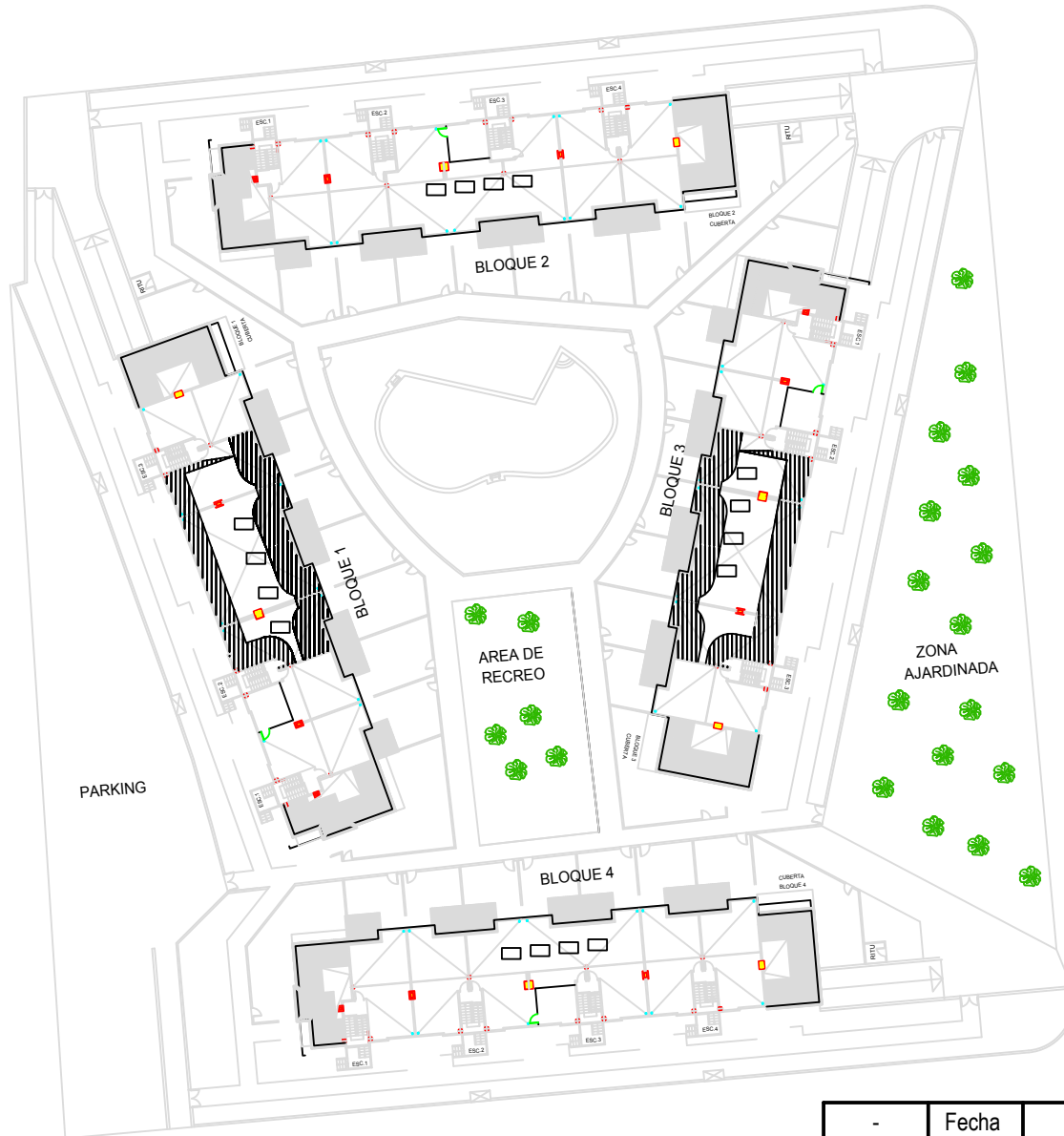


-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Ríaza V.		Escala:	
Comprob.	-	María C. Gómez		-	
Conjunto: <b>Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura</b>				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Título: <b>TRAMOS SECUNDARIO:VIVIENDAS EDIFICOS NORTE Y SUR</b>				Plano Nº.: 2-TSV-N	

Tabla circuito primario					
Tramo	L(m)	Codos	T90	Válv.	
A	4	1	1	0	
B	4	0	1	0	
C	42.26	0	9	0	
D	42.26	0	9	0	
E	2	0	1	0	
F	1	0	1	0	
G	1	1	0	0	
H	2	0	0	0	
I	4	1	0	0	
J	4	1	0	0	
K	34.56	1	1	0	
L	15.69	1	1	0	



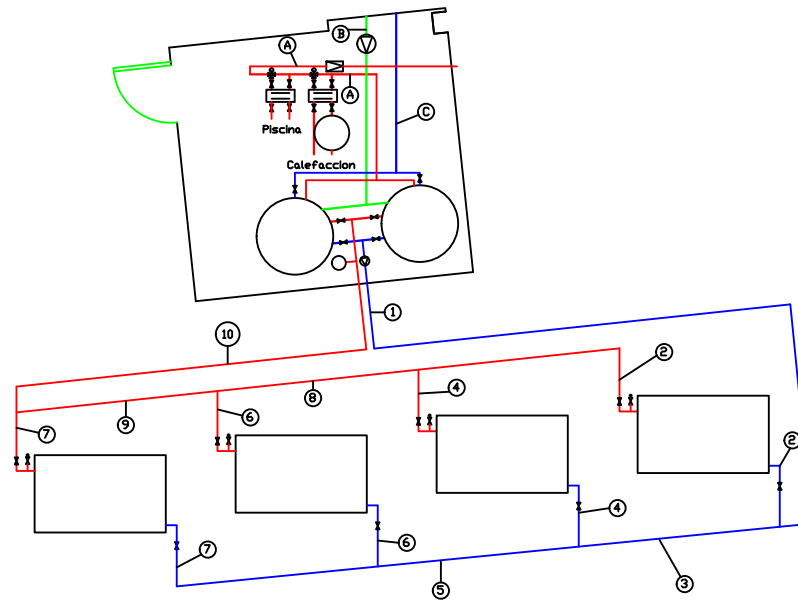
-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Ríaza V.		Escala:	
Comprob.	-	María C. Gómez		-	
Conjunto:				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura					
Título:	TRAMOS SECUNDARIO:VIVIENDAS EDIFICIOS ESTE Y OESTE			Plano N°:	2-TSV-L



-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Ríaza V.		Escala:	
Comprob.	-	María C. Gómez		1:500	
Conjunto:				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura					
Título:				Plano Nº.:	
SOMBRAS				3.S	

Tabla circuito cuarto acumuladores			
Tramo	L(m)	$\varnothing$ (mm)	Caudal (l/h)
A	16,18	35	720
B	6,77	35	720
C	9,25	35	720

Tabla circuito primario edificio norte			
Tramo	L(m)	$\varnothing$ (mm)	Caudal (l/h)
1	23,61	28	720
2	10,34	28	180
3	5,8	28	540
4	4,55	28	180
5	5,68	28	360
6	4,55	28	180
7	10,3	28	180
8	5,86	28	360
9	5,78	28	540
10	16,4	28	720




-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Ríaza V.		Escala:	
Comprob.	-	María C. Gómez		-	
Conjunto:				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura				Plano Nº.: 4.PYA-N	
Título:				TRAMOS PRIMARIO Y CUARTO ACUMULADORES EDIFICIO NORTE	

Tabla circuito cuarto acumuladores			
Tramo	L(m)	Ø (mm)	Caudal (l/h)
A	16,18	35	720
B	6,77	35	720
C	9,25	35	720

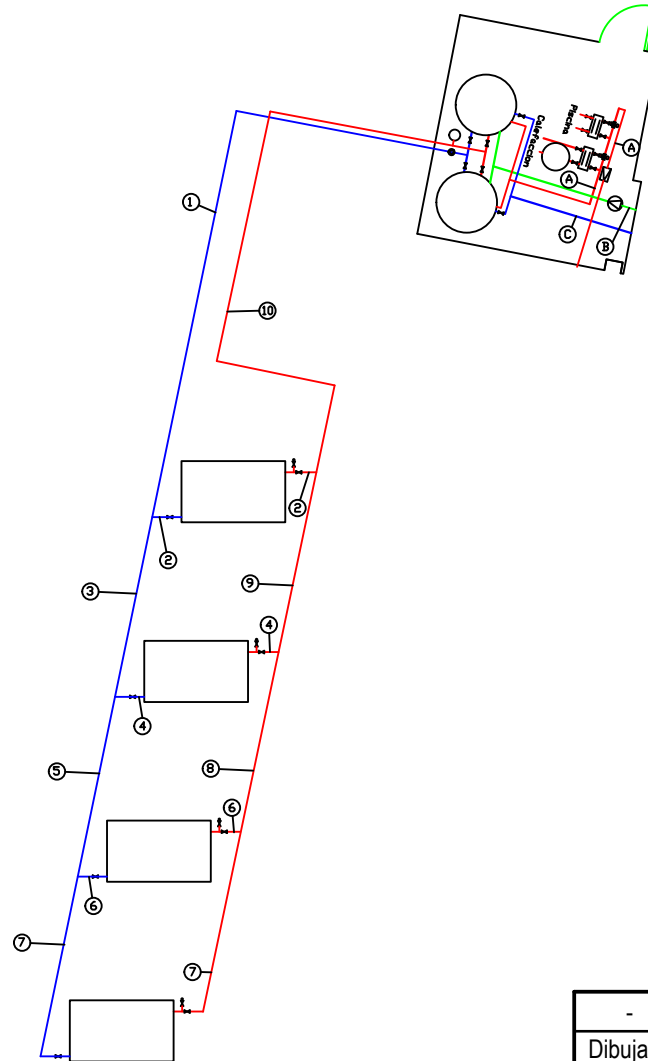


Tabla circuito primario edificio este			
Tramo	L(m)	Ø (mm)	Caudal (l/h)
1	24,92	28	720
2	2,39	28	180
3	6,67	28	540
4	2,39	28	180
5	6,58	28	360
6	2,39	28	180
7	15,75	28	180
8	6,66	28	360
9	6,81	28	540
10	26,51	28	720

-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Ríaza V.		Escala:	
Comprob.	-	María C. Gómez		-	
Conjunto: <b>Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura</b>				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Título: <b>TRAMOS PRIMARIO Y CUARTO ACUMULADORES EDIFICIO ESTE</b>				Plano N°.: 4.PYA-E	

Tabla circuito cuarto acumuladores			
Tramo	L(m)	Ø (mm)	Caudal (l/h)
A	16,18	35	720
B	6,77	35	720
C	9,25	35	720

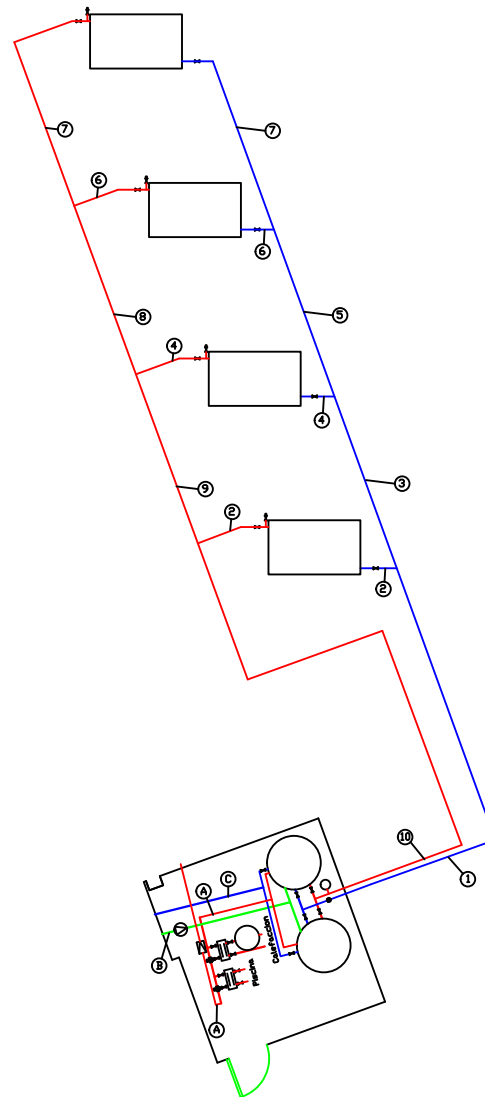


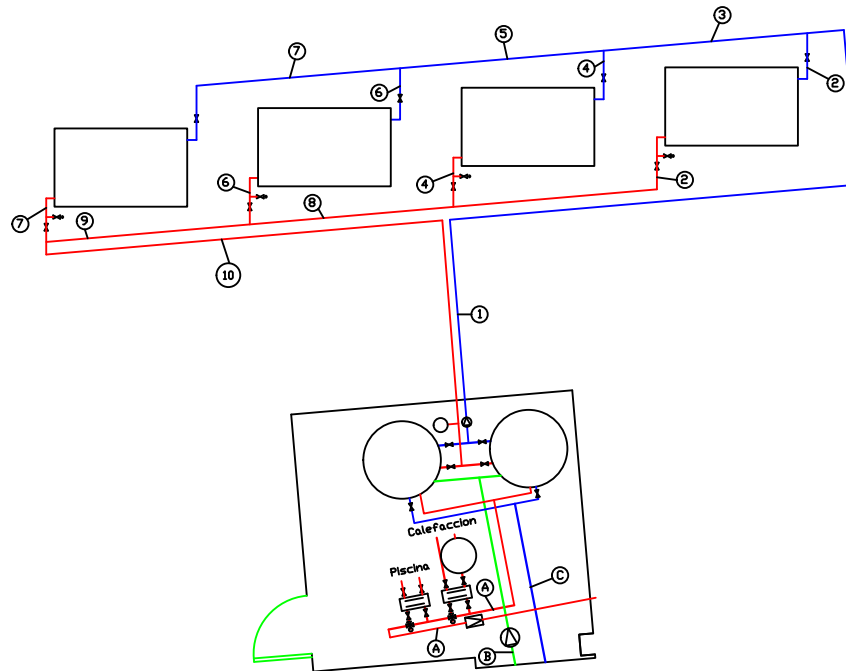
Tabla circuito primario edificio norte			
Tramo	L(m)	Ø (mm)	Caudal (l/h)
1	21,41	28	720
2	4,77	28	180
3	7,49	28	540
4	4,77	28	180
5	7,32	28	360
6	4,77	28	180
7	19,46	28	180
8	7,35	28	360
9	7,4	28	540
10	29,24	28	720

-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Ríaza V.		Escala:	
Comprob.	-	María C. Gómez			
Conjunto:				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura					
Título:				Plano Nº.:	
TRAMOS PRIMARIO Y CUARTO ACUMULADORES EDIFICIO OESTE				4.PYA-O	

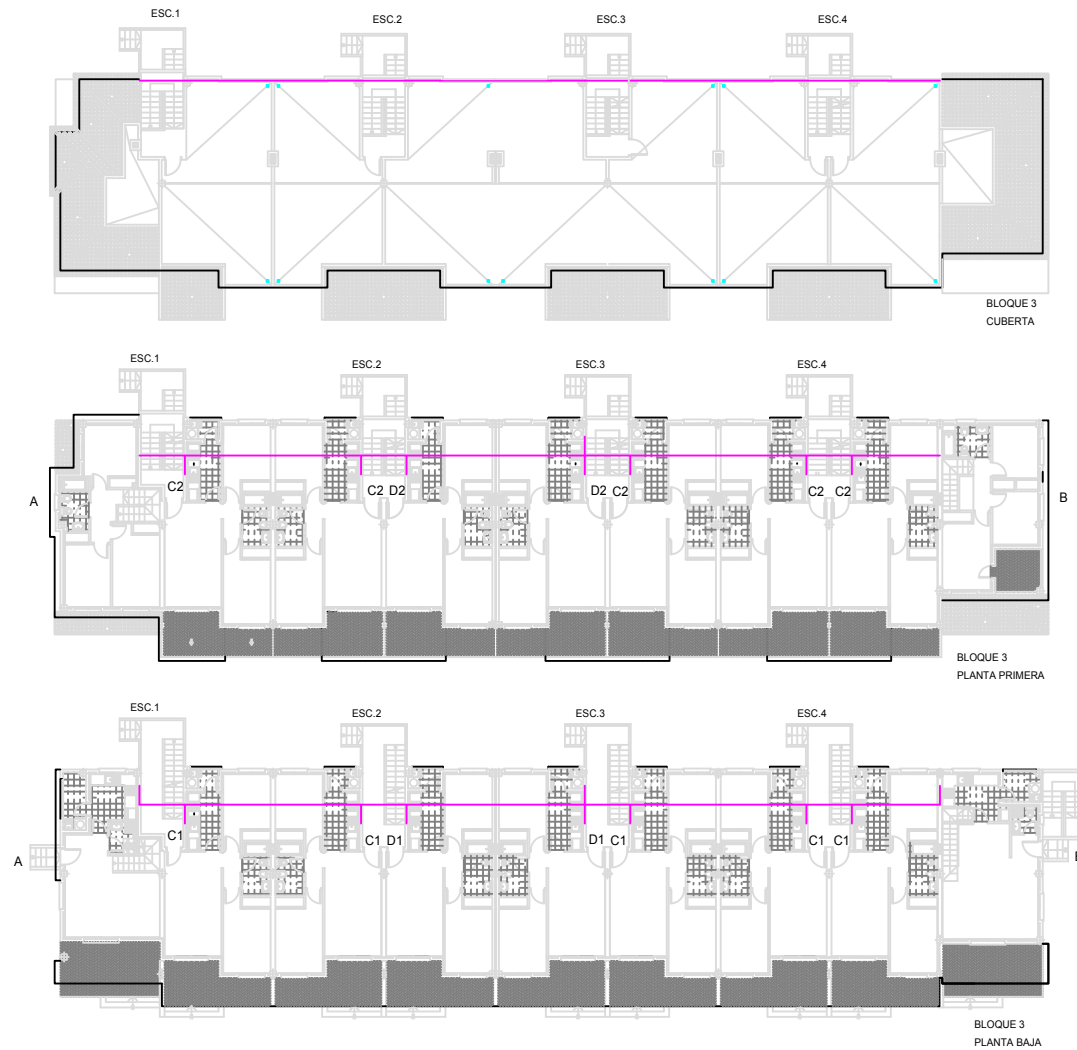


Tabla circuito cuarto acumuladores			
Tramo	L(m)	$\phi$ (mm)	Caudal (l/h)
A	16,18	35	720
B	6,77	35	720
C	9,25	35	720

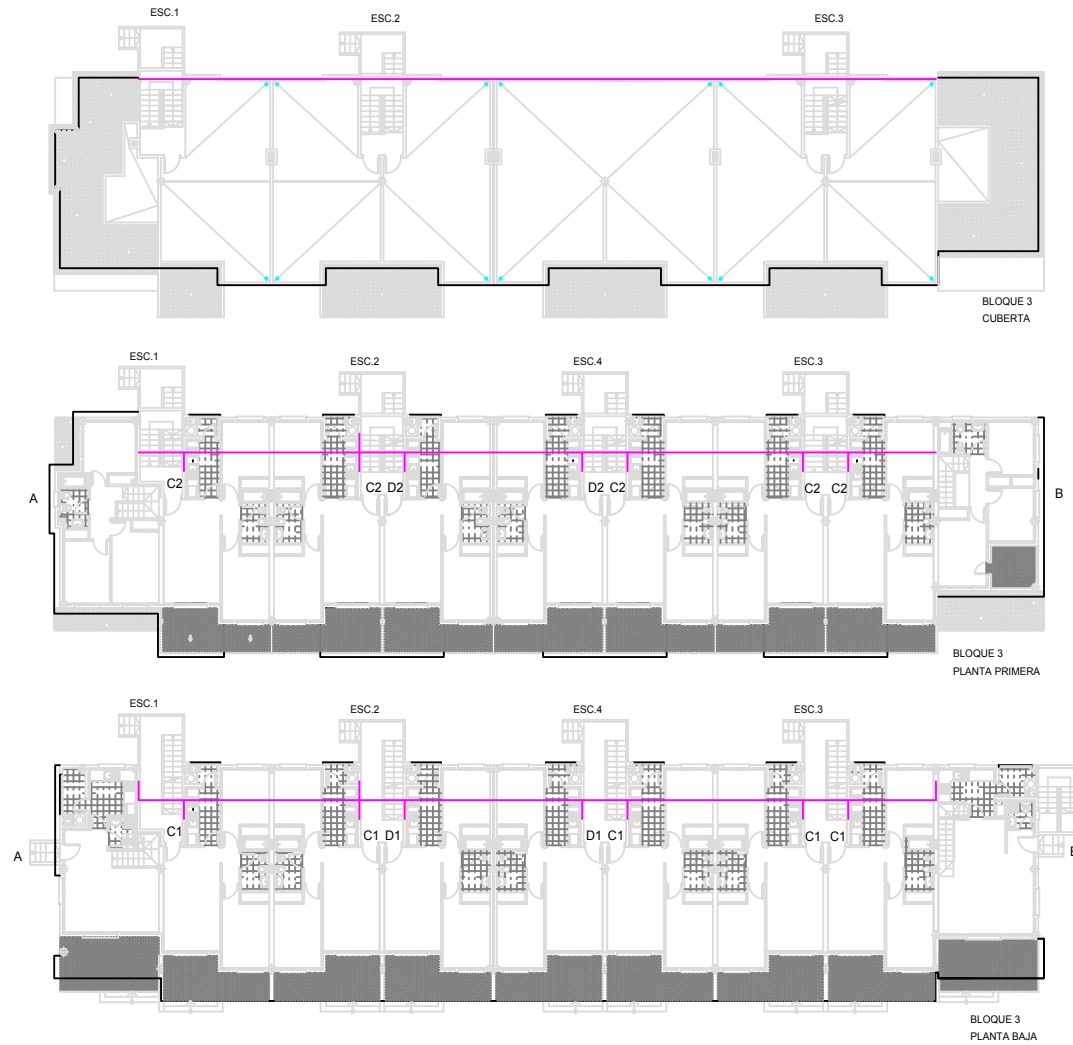
Tabla circuito primario edificio norte			
Tramo	L(m)	$\phi$ (mm)	Caudal (l/h)
1	24,69	28	720
2	9,25	28	180
3	5,8	28	540
4	3,47	28	180
5	5,79	28	360
6	3,47	28	180
7	9,27	28	180
8	5,79	28	360
9	5,77	28	540
10	20,42	28	720



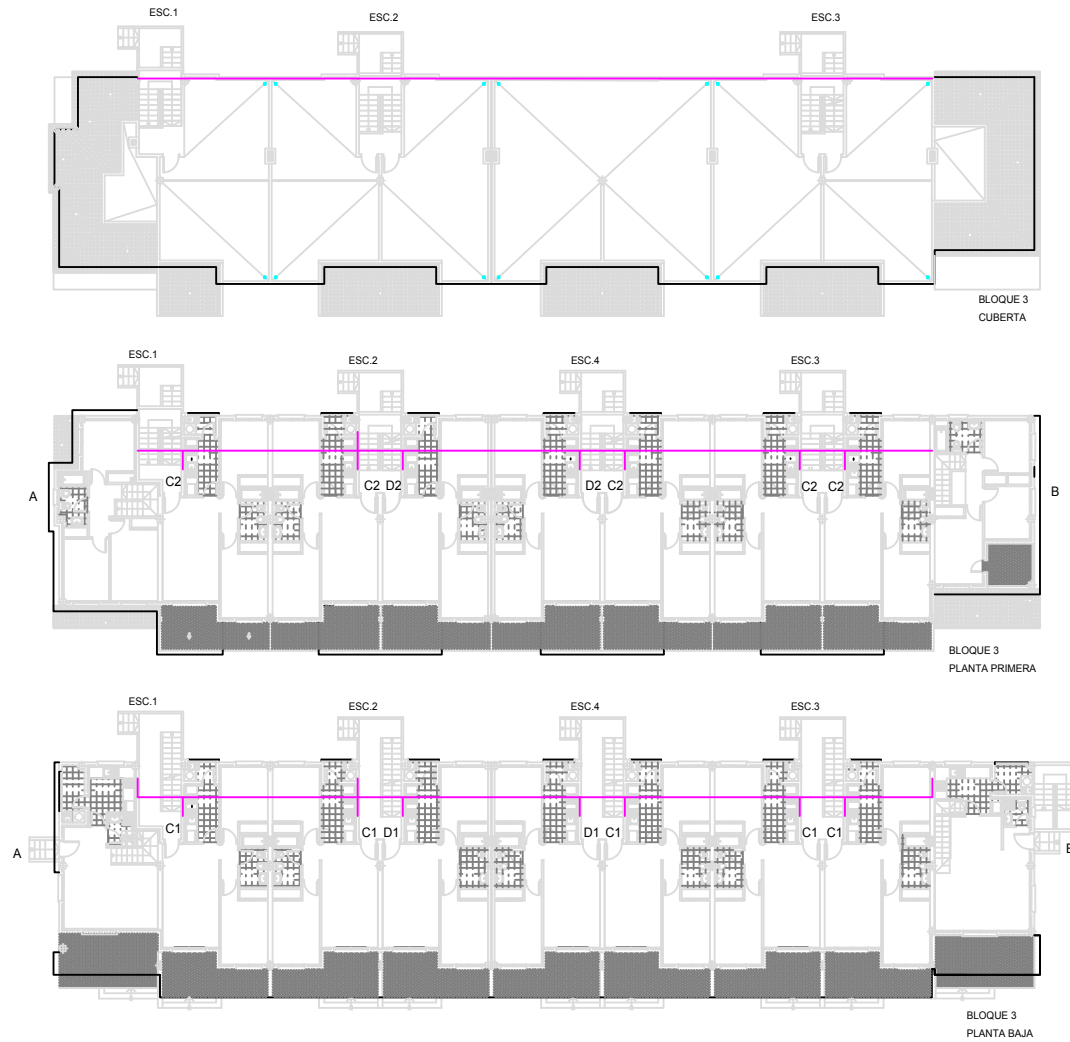
-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Ríaza V.		Escala:	
Comprob.	-	María C. Gómez		-	
Conjunto: <b>Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura</b>				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Título: <b>TRAMOS PRIMARIO Y CUARTO ACUMULADORES EDIFICIO SUR</b>				Plano Nº.:  4.PYA-S	



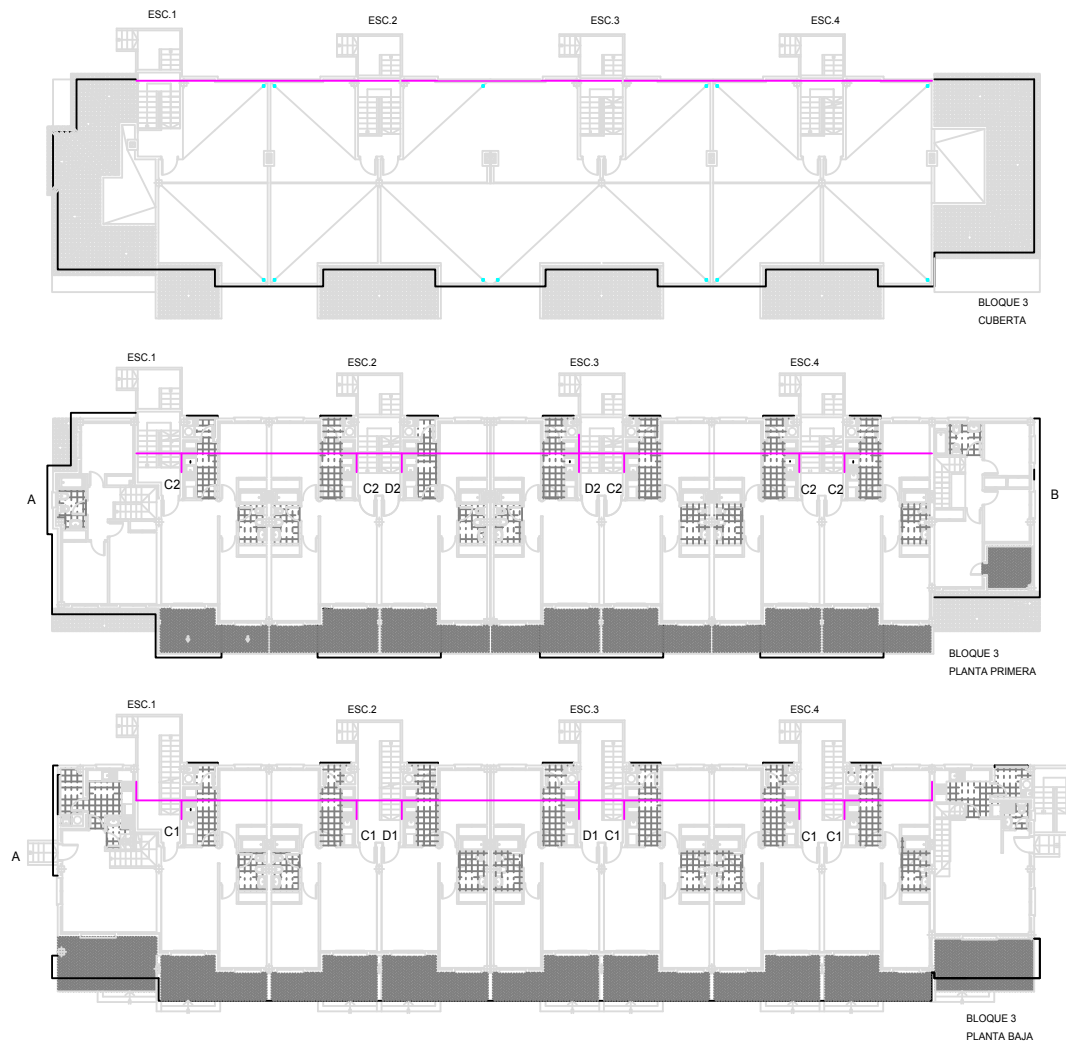
-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Ríaza V.		Escala:	
Comprob.	-	María C. Gómez		1:300	
Conjunto:				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura					
Título: SECUNDARIO: PLANTA VIVIENDAS EDIFICIOS NORTE				Plano N°.: 4.S-PN	




-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Rianza V.		Escala:	 
Comprob.	-	María C. Gómez		1:300	
Conjunto: <b>Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura</b>				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Título: <b>SECUNDARIO: PLANTA VIVIENDAS EDIFICIO ESTE</b>				Plano Nº.:  4.S-PE	



-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Ríaza V.		Escala:	
Comprob.	-	María C. Gómez		1:300	
Conjunto:				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura					
Título:				Plano Nº.:	
SECUNDARIO: PLANTA VIVIENDAS EDIFICIO OESTE				4.S-PO	



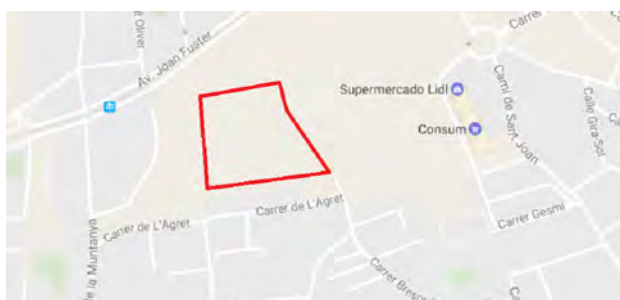
-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Ríaza V.		Escala:  1:300	 
Comprob.	-	María C. Gómez			
Conjunto: <b>Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura</b>				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Título: <b>SECUNDARIO: PLANTA VIVIENDAS EDIFICIO SUR</b>				Plano N°.:  4.S-PS	



Mapa general de Dénia, Alicante.



Mapa satélite del centro urbano de Dénia, Alicante.



Solar donde estarán ubicados los bloques de viviendas.

-	Fecha	Nombre	Firma	Proyecto Fin de Carrera	
Dibujado	08-02-17	Pablo Rianza V.		Escala:	
Comprob.	-	María C. Gómez		-	
Conjunto: <b>Proyecto Energía Solar a Baja Temperatura</b>				Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)	
Título: <b>PLANO DE UBICACIÓN</b>				Plano N°.: 5.PU	

3

## PLIEGO DE CONDICIONES

---

<b>3.1. Condiciones generales.....</b>	<b>2</b>
3.1.1. Objeto y campo de aplicación.....	2
3.1.2. Generalidades.....	2
<b>3.2. Requisitos técnicos.....</b>	<b>4</b>
3.2.1. Fluido de trabajo.....	4
3.2.2. Protección contra heladas.....	5
3.2.3. Protección contra sobrecalentamientos.....	7
3.2.4. Resistencia a presión.....	8
3.2.5. Prevención flujo inverso.....	8
3.2.6. Prevención de la legionelosis.....	8
3.2.7. Clasificación de las instalaciones.....	9
3.2.8. Criterios generales de diseño.....	13
3.2.9. Diseño del sistema de captación.....	16
3.2.10. Estructura soporte.....	19
<b>3.3. Diseño del sistema de acumulación solar.....</b>	<b>19</b>
3.3.1. Situación de las conexiones.....	20
3.3.2. Varios acumuladores.....	21
3.3.3. Sistema auxiliar en el acumulador solar.....	22
3.3.4. Diseño del sistema de intercambio.....	24
<b>3.4. Diseño del circuito hidráulico.....</b>	<b>25</b>
3.4.1 Tuberías.....	25
3.4.2. Bombas.....	25
3.4.3. Vasos de expansión.....	26
3.4.4. Purga de aire.....	26
3.4.5. Drenaje.....	26
<b>3.5. Diseño del sistema de energía auxiliar.....</b>	<b>27</b>
<b>3.6. Diseño del sistema eléctrico y de control.....</b>	<b>29</b>



---

<b>3.7. Diseño del sistema de monitorización.....</b>	<b>30</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>32</b>
<b>ANEXO II.....</b>	<b>37</b>
<b>ANEXO III.....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXO IV.....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO V.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO VI.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO VII.....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO VIII.....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO IX.....</b>	<b>115</b>

### 3.1. Condiciones generales

#### 3.1.1. Objeto y campo de aplicación

La principal función de este documento es establecer las condiciones técnicas que como mínimo deben cumplir las instalaciones solares térmicas de baja temperatura definiendo durabilidad, fiabilidad y seguridad.

La aplicación de este documento comprende todos los sistemas mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos que forman parte de las instalaciones.

#### 3.1.2. Generalidades

En general, a este tipo de instalaciones le son de aplicación el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC), el código técnico de edificación (CTE), junto con la serie de normas UNE sobre solar térmica listadas en el Anexo I.

A efectos de requisitos mínimos, se consideran las siguientes clases de instalaciones:

- *Sistemas solares de calentamiento prefabricados* son lotes de productos con una marca registrada, que son vendidos como equipos completos y listos para instalar, con configuraciones fijas. Los sistemas de esta categoría se consideran como un solo producto y se evalúan en un laboratorio de ensayo como un todo. Si un sistema es modificado cambiando su configuración o cambiando uno o más de sus componentes, el sistema modificado se considera como un nuevo sistema, para el cual es necesario una nueva evaluación en el laboratorio de ensayo.
- *Sistemas solares de calentamiento a medida o por elementos* son aquellos sistemas contruidos de forma única o montados eligiéndolos de una lista de componentes. Los sistemas de esta categoría son considerados como un conjunto de componentes. Los componentes

se ensayan de forma separada y los resultados de los ensayos se integran en una evaluación del sistema completo. Los sistemas solares de calentamiento a medida se subdividen en dos categorías:

- *Sistemas grandes a medida* son diseñados únicamente para una situación específica.

En general son diseñados por ingenieros, fabricantes y otros expertos.

- *Sistemas pequeños a medida* se especifican todos los componentes y posibles configuraciones de los sistemas. Cada posible combinación de una configuración del sistema con componentes de la clasificación se considera un solo sistema a medida.

Sistemas solares prefabricados (*)	Sistemas solares a medida (**)
Sistemas por termosifón para agua caliente sanitaria	Sistemas de circulación forzada (o de termosifón) para agua caliente y/o calefacción y/o refrigeración y/o calentamiento de piscinas, montados usando componentes y configuraciones descritos en un archivo de documentación (principalmente sistemas pequeños).
Sistemas de circulación forzada como lote de productos con configuración fija para agua caliente sanitaria	
Sistemas con captador-depósito integrados (es decir, en un mismo volumen) para agua caliente sanitaria.	Sistemas únicos en el diseño y montaje, utilizados para calentamiento de agua, calefacción y/o refrigeración y/o calentamiento de piscinas o usos industriales (principalmente sistemas grandes).

(\*) También denominados “equipos domésticos” o “equipos compactos”.

(\*\*) También denominados “instalaciones diseñadas por elementos” o “instalaciones partidas”.

Tabla 1. División de sistemas solares de calentamiento prefabricados y a medida.

Considerando el coeficiente global de pérdidas de los captadores se considerarán, a efectos de permitir o limitar, dos grupos dependiendo del rango de temperatura de trabajo:

- Las instalaciones destinadas exclusivamente a producir agua caliente sanitaria, calentamiento de piscinas, precalentamiento de

agua de aporte de procesos industriales, calefacción por suelo radiante o “fan-coil” u otros usos a menos de 45 °C, podrán emplear captadores cuyo coeficiente global de pérdidas esté comprendido entre 9 W/(m<sup>2</sup>·°C) y 4,5 W/( m<sup>2</sup>·°C).

- Las instalaciones destinadas a climatización, calefacción por sistemas diferentes a suelo radiante o “fan-coil”, u otros usos en los cuales la temperatura del agua de aporte a la instalación solar y la de referencia de producción se sitúen en niveles semejantes, deberán emplear captadores cuyo coeficiente global de pérdidas sea inferior a 4,5 W/( m<sup>2</sup>·°C).

En ambos grupos el rendimiento medio anual de la instalación deberá ser mayor del 30 %.

### **3.2. Requisitos técnicos**

#### **3.2.1. Fluido de trabajo**

Como fluido de trabajo en el circuito primario se utilizará agua de la red, o agua desmineralizada, o agua con aditivos, según las características climatológicas del lugar y del agua utilizada.

Los aditivos más usuales son los anticongelantes, aunque en ocasiones se puedan utilizar aditivos anticorrosivos.

En cualquier caso el pH a 20 °C del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 9, y el contenido en sales se ajustará a los señalados en los puntos siguientes:

- a) La salinidad del agua del circuito primario no excederá de 500 mg/l totales de sales solubles. En el caso de no disponer de este valor se tomará el de conductividad como variable limitante, no sobrepasando los 650 µS/cm.
- (\*) El punto de congelación deberá de estar acorde con las condiciones climáticas del lugar.

- b) El contenido en sales de calcio no excederá de 200 mg/l. expresados como contenido en carbonato cálcico.
- c) El límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/l.
- Fuera de estos valores, el agua deberá ser tratada.

El diseño debe evitar cualquier tipo de mezcla de los distintos fluidos que pueden operar en la instalación. Para aplicaciones en procesos industriales, refrigeración o calefacción, las características del agua exigidas por dicho proceso no sufrirán ningún tipo de modificación que pueda afectar al mismo.

### **3.2.2. Protección contra heladas**

El fabricante, suministrador final, instalador o diseñador del sistema deberá fijar la mínima temperatura permitida en el sistema. Todas las partes del sistema que estén expuestas al exterior deberán ser capaces de soportar la temperatura especificada sin daños permanentes en el sistema.

Cualquier componente que vaya a ser instalado en el interior de un recinto donde la temperatura pueda caer por debajo de los 0 °C, deberá estar protegido contra heladas.

El fabricante deberá describir el método de protección anti-heladas usado por el sistema. A los efectos de este documento, como sistemas de protección anti-heladas podrán utilizarse:

1. Mezclas anticongelantes.
2. Recirculación de agua de los circuitos.
3. Drenaje automático con recuperación de fluido.
4. Drenaje al exterior (sólo para sistemas solares prefabricados).

### **3.2.2.1. Mezclas anticongelantes**

Como anticongelantes podrán utilizarse los productos, solos o mezclados con agua, que cumplan la reglamentación vigente y cuyo punto de congelación sea inferior a 0 °C. En todo caso, su calor específico no será inferior a 3 kJ/(kg·K), equivalentes a 0,7 kcal/(kg·°C) medido a una temperatura 5 °C menor que la mínima histórica registrada. Se deberán tomar precauciones para prevenir posibles deterioros del fluido anticongelante como resultado de condiciones altas de temperatura. Estas precauciones deberán de ser comprobadas de acuerdo con UNE-EN 12976-2.

La instalación debe disponer de los sistemas necesarios para llenar la misma y para asegurar que el anticongelante está perfectamente mezclado.

En cualquier caso, el sistema de llenado no permitirá las pérdidas de concentración producidas por fugas del circuito y resueltas con reposición de agua de red.

### **3.2.2.2. Recirculación del agua del circuito**

Con este método se pretende que para evitar congelamiento, el fluido de trabajo este en movimiento cuando exista riesgo de helarse. El sistema de control actuará, activando la circulación del circuito primario, cuando la temperatura detectada preferentemente en la entrada de captadores o salida o aire ambiente circundante alcance un valor superior al de congelación del agua (como mínimo 3 °C). Este tipo de sistema está especialmente indicado para zonas climáticas en las que los períodos de baja temperatura sean de corta duración.

Se deberá evitar, en la medida de lo posible, la circulación de agua en el circuito secundario.

### **3.2.2.3. Drenaje automático con recuperación del fluido**

Cuando haya riesgo de heladas el fluido que circula por aquellos componentes del sistema que están expuestos a una baja temperatura ambiente

es drenado a un depósito, para su posterior uso. Para llevar a cabo dicho drenaje la inclinación de las tuberías horizontales debe estar en concordancia con las recomendaciones del fabricante en el manual de instalador al menos en 20 mm/m. Cuando la temperatura detectada en captadores alcance un valor superior al de congelación del agua (como mínimo 3 °C), el sistema de control actuará sobre la electroválvula de drenaje. El vaciado del circuito se realizará a un tanque auxiliar de almacenamiento, debiéndose prever un sistema de llenado de captadores para recuperar el fluido. El sistema requiere utilizar un intercambiador de calor entre los captadores y el acumulador para mantener en éste la presión de suministro de agua caliente.

#### **3.2.2.4. Sistemas de drenaje al exterior**

El fluido en los componentes del sistema que están expuestos a baja temperatura ambiente, es drenado al exterior cuando ocurre peligro de heladas. La inclinación de las tuberías horizontales debe estar en concordancia con las recomendaciones del fabricante en el manual de instalador al menos en 20 mm/m. Este sistema no está permitido en los sistemas solares a medida.

#### **3.2.3. Protección contra sobrecalentamientos**

El sistema se debe diseñar para que cuando se realice un uso de ACS con altas radiaciones solares, no se deba de hacer ninguna acción por el usuario para evitar el funcionamiento normal de la instalación.

Cuando el sistema disponga de la posibilidad de drenajes como protección ante sobrecalentamientos, la construcción deberá realizarse de tal forma que el agua caliente o vapor del drenaje no supongan ningún peligro para los habitantes y no se produzcan daños en el sistema, ni en ningún otro material en el edificio o vivienda.

Cuando las aguas sean duras (contenido en sales de calcio entre 100 y 200 mg/l), la temperatura de trabajo del circuito de consumo no sea superior a 60 °C, y habrá que tomar medidas para que eso no ocurra.

En las instalaciones de ACS donde la temperatura del agua caliente de consumo pueda ser mayor de 60°C habrá que instalar un sistema automático o de mezcla o cualquier otro método que limite la temperatura de suministro a 60°C. Este sistema debe ser capaz de soportar la máxima temperatura posible.

El sistema deberá ser diseñado de tal forma que nunca se exceda la máxima temperatura permitida por todos los materiales y componentes.

#### **3.2.4. Resistencia a presión.**

Se deberán cumplir los requisitos de la norma UNE-EN 12976-1. En caso de sistemas de consumo abiertos con conexión a la red, se tendrá en cuenta la máxima presión de la misma para verificar que todos los componentes del circuito de consumo soportan dicha presión.

#### **3.2.5. Prevención de flujo inverso.**

La instalación se deberá diseñar de tal forma que no se den pérdidas de carga por flujo inverso en ningún flujo del sistema.

La circulación natural que produce el flujo inverso se puede favorecer cuando el acumulador se encuentra por debajo del captador, por lo que habrá que tomar, en esos casos, las precauciones oportunas para evitarlo.

Es aconsejable utilizar válvulas anti-retorno en los sistemas de circulación forzada.

#### **3.2.6. Prevención de la legionelosis**

La temperatura del agua debe ser como mínimo 50°C en el punto más lejano y previo a la mezcla necesaria para la protección contra quemaduras o antes de la tubería de retorno al acumulador, aunque la instalación puede alcanzar los 70°C y no se permite la presencia de acero galvanizado. Así se cumple el Real Decreto 865/2003 respecto a esta bacteria.



### 3.2.7. Clasificación de las instalaciones

Para dicha clasificación se atenderá a los siguientes criterios:

- Principio de circulación.
- Sistema de transferencia de calor.
- Sistema de expansión.
- Sistema de energía auxiliar.
- Aplicación.

Por el *principio de circulación* se clasificarán en:

- Termosifón o circulación natural.
- Circulación forzada.

Por el *sistema de transferencia de calor*:

- Transferencia directa sin intercambiador de calor.
- Instalación con intercambiador de calor en el acumulador solar.
  - Sumergido.
  - Doble envolvente.
- Instalación con intercambiador de calor independiente.

Por el *sistema de expansión*:

- Sistema abierto.
- Sistema cerrado.

Por el *sistema de aporte de energía auxiliar*:

- Energía auxiliar en el acumulador solar.
- Energía auxiliar en acumulador secundario individual.
- Energía auxiliar en acumulador secundario centralizado.
- Energía auxiliar en acumuladores secundarios distribuidos.

- Energía auxiliar en línea centralizado.
- Energía auxiliar en línea distribuido.
- Energía auxiliar en paralelo.

Por su *aplicación*:

- Calentamiento de agua sanitaria (ACS).
- Usos industriales.
- Calefacción.
- Refrigeración.
- Climatización de piscinas.
- Uso combinado.
- Precalentamiento.

Configuraciones recomendadas para los distintos tipos de instalaciones:

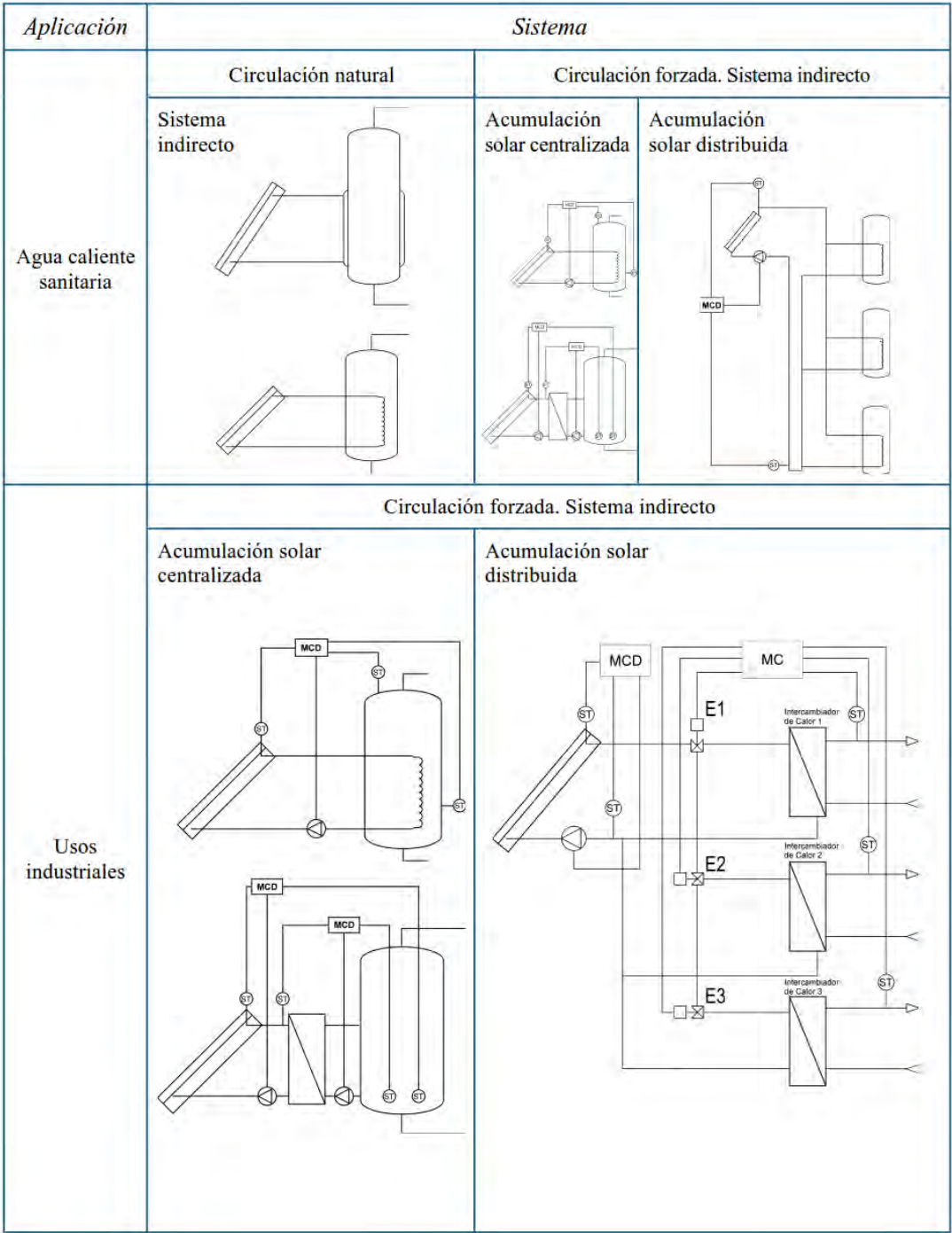


Fig. 1: Configuraciones recomendadas (1 de 2)

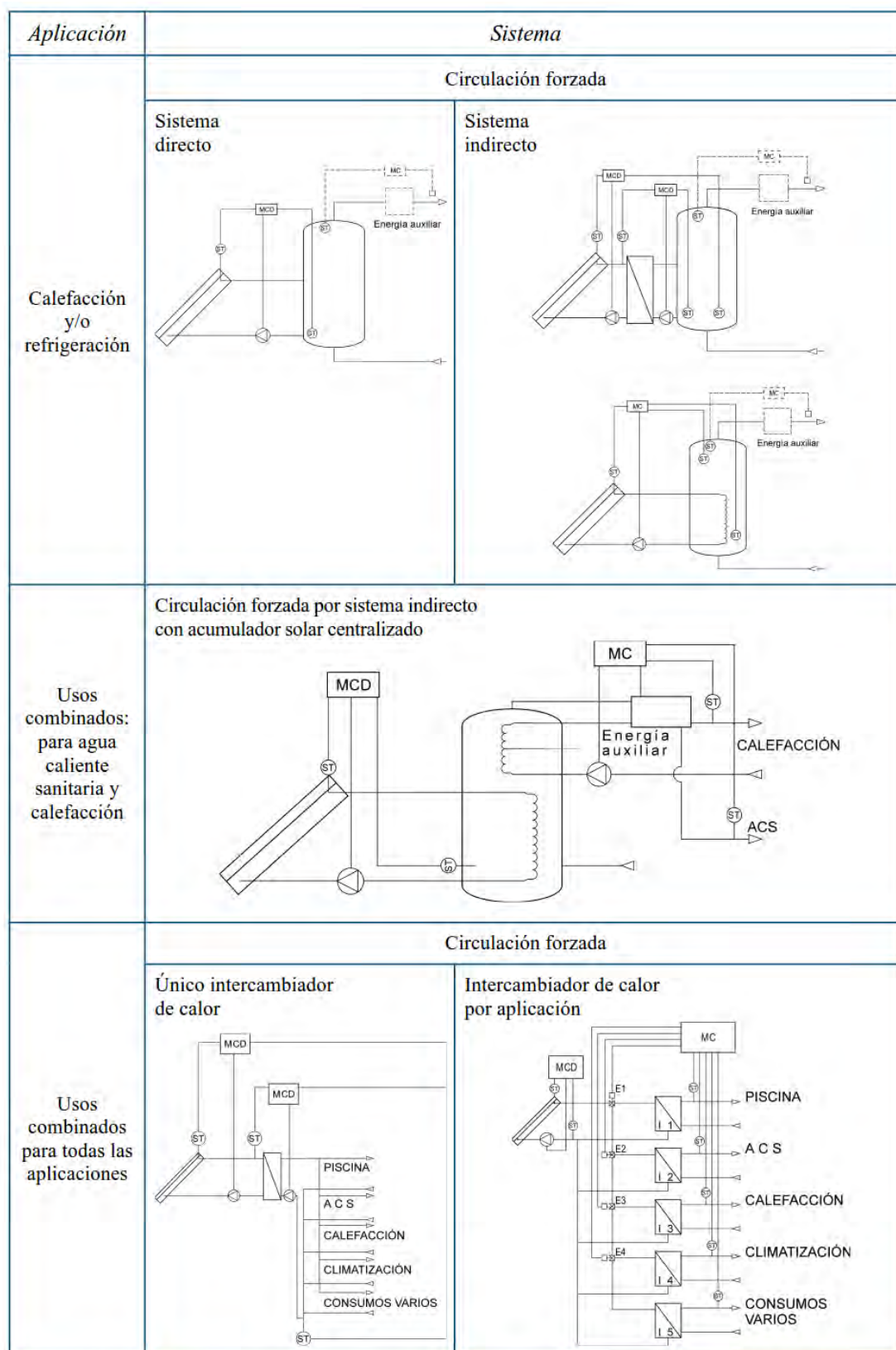


Fig. 1: Configuraciones recomendadas (2 de 2)

### 3.2.8. Criterios generales de diseño

Estos criterios están constituidos por dos tipos de condiciones, de uso y climáticas.

#### *Condiciones de uso*

Están asociadas a la demanda energética de la instalación según los diferentes tipos de consumo:

- Para aplicaciones de A.C.S., la demanda energética se determina en función del consumo de agua caliente
- Para aplicaciones de calentamiento de piscinas, la demanda energética se calcula en función de las pérdidas de la misma.
- Para aplicaciones de climatización (calefacción y refrigeración), la demanda energética viene dada por la carga térmica del habitáculo a climatizar, calculándose según lo especificado en el RITE.
- Para aplicaciones de uso industrial se tendrá en cuenta la demanda energética y potencia necesaria, realizándose un estudio específico y pormenorizado de las necesidades, definiendo claramente si es un proceso discreto o continuo y el tiempo de duración del mismo.
- Para instalaciones combinadas se realizará la suma de las demandas energéticas sobre base diaria o mensual, aplicando si es necesario factores de simultaneidad.

#### *Condiciones climáticas*

Están asociadas a la radiación global y a las temperaturas de agua de red y a la ambiente diaria de la localización. Esos datos podrán ser recogidos de cualquier entidad fiable.

Para piscinas cubiertas, los valores ambientales de temperatura y humedad deberán ser fijados en el proyecto, la temperatura seca del aire del local será entre 2 °C y 3 °C mayor que la del agua, con un mínimo de 26 °C y

un máximo de 28 °C, y la humedad relativa del ambiente se mantendrá entre el 55 % y el 70 %, siendo recomendable escoger el valor de diseño 60 %.

El dimensionado básico se refiere a la selección de la superficie de captadores solares y al volumen de acumulación solar para la aplicación a la que está destinada la instalación.

El dimensionado básico debe realizarse para que en ningún mes del año la energía producida por la instalación solar supere el 110% de la demanda energética y no más de tres meses el 100%. No se tomarán en consideración aquellos periodos en los cuales la demanda este un 50% por debajo de la media del año.

A estos efectos, se definen los conceptos de fracción solar y rendimiento medio estacional o anual de la siguiente forma:

- Fracción solar mes “x” =  $(\text{Energía solar aportada el mes “x”} / \text{Demanda energética durante el mes “x”}) \times 100$
- Fracción solar año “y” =  $(\text{Energía solar aportada el año “y”} / \text{Demanda energética durante el año “y”}) \times 100$
- Rendimiento medio año “y” =  $(\text{Energía solar aportada el año “y”} / \text{Irradiación incidente año “y”}) \times 100$
- Irradiación incidente año “y” = Suma de las irradiaciones incidentes de los meses del año “y”
- Irradiaciones incidentes en el mes “x” = Irradiación en el mes “x”  $\times$  Superficie captadora

El concepto de *energía solar aportada el año “y”* se refiere a la energía demandada realmente satisfecha por la instalación de energía solar. Esto significa que para su cálculo nunca podrá considerarse más de un 100 % de aporte solar en un determinado mes.

El método de cálculo especificará, al menos sobre base mensual, los valores medios diarios de la demanda de energía y del aporte solar. Asimismo, el método de cálculo incluirá las prestaciones globales anuales definidas por:

- La demanda de energía térmica.
- La energía solar térmica aportada.
- La fracción solar media anual.
- El rendimiento medio anual.

En el caso de A.C.S., se debe tener en cuenta que el sistema solar se debe diseñar y calcular en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del colector por tanto se debe añadir una acumulación acorde con la demanda y el aporte, al no ser ésta simultánea con la generación.

Para esta aplicación el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < V/A < 180$$

Donde  $A$  será el área total de los captadores, expresada en  $m^2$ , y  $V$  es el volumen del depósito de acumulación solar, expresado en litros, cuyo valor recomendado es aproximadamente la carga de consumo diaria  $M$ :  $V = M$ .

Además, para instalaciones con fracciones solares bajas, se deberá considerar el uso de relaciones  $V/A$  pequeñas y para instalaciones con fracciones solares elevadas se deberá aumentar dicha relación.

Para instalaciones de climatización de piscinas exclusivamente, no se podrá usar ningún volumen de acumulación, aunque se podrá utilizar un pequeño almacenamiento de inercia en el primario.

Para instalaciones de climatización se dimensionará el volumen de acumulación para que se cubran las necesidades de energía demandada

durante, al menos, una hora. De cualquier forma se recomienda usar una relación de  $V/A$  entre  $25 \text{ l/m}^2$  y  $50 \text{ l/m}^2$

### **3.2.9. Diseño del sistema de captación.**

El captador seleccionado deberá poseer la certificación emitida por un organismo competente en la materia o por un laboratorio de ensayos según lo regulado en el RD 891/1980 de 14 de abril, sobre homologación de los captadores solares y en la Orden de 28 de julio de 1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los captadores solares.

A efectos de este PCT, será necesaria la presentación de la homologación del captador por el organismo de la Administración competente en la materia y la certificación del mismo por laboratorio acreditado, así como las curvas de rendimiento obtenidas por el citado laboratorio.

Se recomienda que los captadores que integren la instalación sean del mismo modelo, tanto por criterios energéticos como por criterios constructivos.

#### **3.2.9.1 Orientación, inclinación, sombras e integración arquitectónica**

La orientación e inclinación del sistema de captación y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas respecto al óptimo, sean inferiores a los límites de la tabla 2. Se considerarán tres casos: general, superposición de captadores e integración arquitectónica según se define más adelante. En todos los casos se han de cumplir tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores óptimos.



Tabla 2

	<i>Orientación e inclinación (OI)</i>	<i>Sombras (S)</i>	<i>Total (OI+S)</i>
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Se considera la dirección Sur como orientación óptima y la mejor inclinación,  $\beta_{opt}$ , dependiendo del período de utilización, uno de los valores siguientes:

- Consumo constante anual: la latitud geográfica
- Consumo preferente en invierno: la latitud geográfica + 10°
- Consumo preferente en verano: la latitud geográfica - 10°

Se considera que existe integración arquitectónica cuando los captadores cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales.

Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal del absorbedor. Una regla fundamental a seguir para conseguir la integración o superposición de las instalaciones solares es la de mantener, dentro de lo posible, la alineación con los ejes principales de la edificación.

### 3.2.9.2 Conexionado

Los captadores se dispondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie o en serieparalelo, debiéndose instalar válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc.

Dentro de cada fila los captadores se conectarán en serie o en paralelo. El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante.

La superficie de una fila de captadores conexcionados en serie no será superior a 10 m<sup>2</sup>. En caso de algunos usos industriales y refrigeración por absorción, si estuviese justificado, podrá elevarse a lo máximo permitido por el fabricante. En el caso de A.C.S., el número de captadores conexcionados en serie no será superior a lo fijado en la sección H4 (“Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria”) del Código Técnico de la Edificación.

Se dispondrá de un sistema para asegurar igual recorrido hidráulico en todas las baterías de captadores. En general se debe alcanzar un flujo equilibrado mediante el sistema de retorno invertido. Si esto no es posible, se puede controlar el flujo mediante mecanismos adecuados, como válvulas de equilibrado.

Se deberá prestar especial atención en la estanquidad y durabilidad de las conexiones del captador.

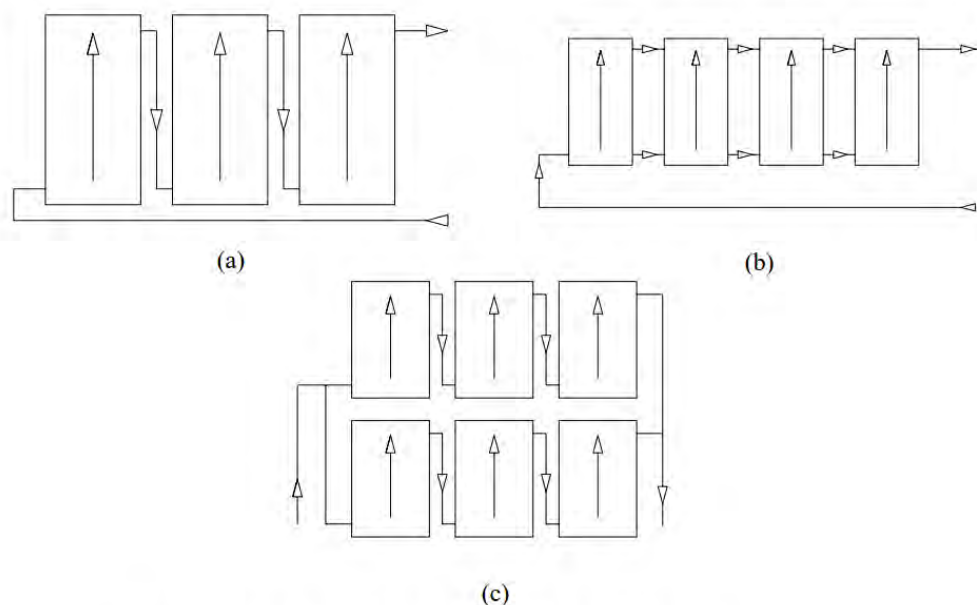


Fig. 2. Conexión de captadores: a) En serie. b) En paralelo. c) En serie-paralelo.

### 3.2.10 Estructura soporte

Si el sistema posee una estructura soporte que es montada normalmente en el exterior, el fabricante deberá especificar los valores máximos de  $s_k$  (carga de nieve) y  $v_m$  (velocidad media de viento) de acuerdo con ENV 1991-2-3 y ENV 1991-2-4. Esto deberá verificarse durante el diseño calculando los esfuerzos de la estructura soporte de acuerdo con estas normas. El sistema sólo podrá ser instalado en localizaciones donde los valores de  $s_k$  y  $v_m$  determinados de acuerdo con ENV 1991-2-3 y ENV 1991-2-4 sean menores que los valores máximos especificados por el fabricante.

El diseño y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de captadores, permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los captadores o al circuito hidráulico. Los puntos de sujeción del captador serán suficientes en número, teniendo el área de apoyo y posición relativa adecuadas, de forma que no se produzcan flexiones en el captador superiores a las permitidas por el fabricante. Los topes de sujeción de los captadores y la propia estructura no arrojarán sombra sobre estos últimos.

### 3.3. Diseño del sistema de acumulación solar

Los acumuladores para A.C.S. y las partes de acumuladores combinados que estén en contacto con agua potable, deberán cumplir los requisitos de UNE EN 12897.

Preferentemente, los acumuladores serán de configuración vertical y se ubicarán en zonas interiores.

Para aplicaciones combinadas con acumulación centralizada es obligatoria la configuración vertical del depósito, debiéndose además cumplir que la relación altura/diámetro del mismo sea mayor de dos.

En caso de que el acumulador esté directamente conectado con la red de distribución de agua caliente sanitaria, deberá ubicarse un termómetro en un sitio claramente visible por el usuario.

El sistema deberá ser capaz de elevar la temperatura del acumulador a 60 °C y hasta 70°C con objeto de prevenir la legionelosis, tal como aparece en el RD 865/2003, de 4 de julio.

En caso de aplicaciones para A.C.S. y sistema de energía auxiliar no incorporado en el acumulador solar, es necesario realizar un conexionado entre el sistema auxiliar y el solar de forma que se pueda calentar este último con el auxiliar, para poder cumplir con las medidas de prevención de legionella. Se podrán proponer otros métodos de tratamiento anti-legionella.

Los acumuladores de los sistemas grandes a medida con un volumen mayor de 2 m<sup>3</sup> deberán llevar válvulas de corte u otros sistemas adecuados para cortar flujos al exterior del depósito no intencionados en caso de daños del sistema.

### **3.3.1. Situación de las conexiones**

Con el objetivo de aprovechar al máximo la energía captada y evitar la pérdida de la estratificación por temperatura en los depósitos, la situación de las tomas para las diferentes conexiones serán las establecidas en los puntos siguientes:

- a) La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores al acumulador se realizará, preferentemente, a una altura comprendida entre el 50 % y el 75 % de la altura total del mismo.
- b) La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior de éste.

- c) En caso de una sola aplicación, la alimentación de agua de retorno de consumo al depósito se realizará por la parte inferior. En caso de sistemas abiertos en el consumo, como por ejemplo A.C.S., esto se refiere al agua fría de red. La extracción de agua caliente del depósito se realizará por la parte superior.
- d) En caso de varias aplicaciones dentro del mismo depósito habrá que tener en cuenta los niveles térmicos de éstas, de forma que tanto las salidas como los retornos para aplicaciones que requieran un mayor nivel térmico en temperaturas estén por encima de las que requieran un nivel menor.

Se recomienda que la/s entrada/s de agua de retorno de consumo esté equipada con una placa deflectora en la parte interior, a fin de que la velocidad residual no destruya la estratificación en el acumulador o el empleo de otros métodos contrastados que minimicen la mezcla.

Las conexiones de entrada y salida se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido.

### **3.3.2. Varios acumuladores**

Cuando sea necesario que el sistema de acumulación solar esté formado por más de un depósito, éstos se conectarán en serie invertida en el circuito de consumo o en paralelo con los circuitos primarios y secundarios equilibrados, tal como se puede ver en la figura 3.

La conexión de los acumuladores permitirá la desconexión individual de los mismos sin interrumpir el funcionamiento de la instalación.

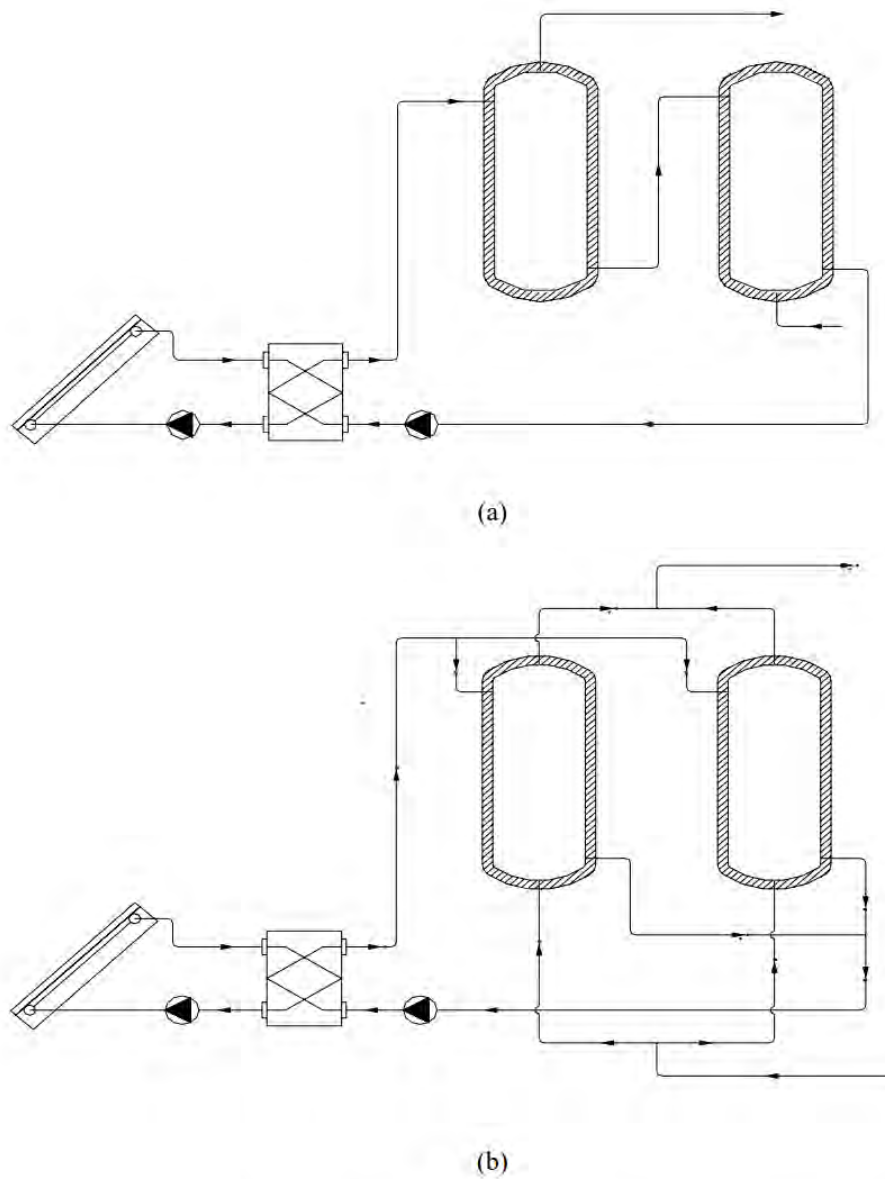


Fig. 3. a) Conexión en serie invertida con el circuito de consumo. b) Conexión en paralelo con el circuito secundario equilibrado.

### 3.3.3. Sistema auxiliar en el acumulador solar

Como norma general no está permitida la conexión de un sistema auxiliar en el acumulador solar, ya que dicho sistema auxiliar puede comprometer las posibilidades de la instalación para proporcionar las prestaciones energéticas que se pretenden.

Existe la posibilidad cuando debido circunstancias específicas en la instalación, demanden sistemas auxiliares, excepto en los casos de producción de A.C.S. y climatización de piscinas (precisamente el caso de este proyecto, pero se expone igualmente, aunque no se pueda aplicar), se podrá considerar la incorporación de energía convencional en el acumulador solar, para ello será imprescindible una descripción detallada de todos los sistemas y equipos asociados, que justifique que se produce el proceso de estratificación y que además permita la verificación del cumplimiento cada una de las siguientes condiciones en el acumulador solar:

1. Deberá tratarse de un sistema indirecto: acumulación solar en el secundario.
2. Volumen total máximo de 2000 litros.
3. Configuración vertical con relación entre la altura y el diámetro del acumulador no inferior a 2.
4. Calentamiento solar en la parte inferior y calentamiento convencional en la parte superior considerándose el acumulador dividido en dos partes separadas por una de transición de, al menos, 10 centímetros de altura. La parte solar inferior deberá cumplir con los criterios de dimensionado de estas prescripciones y la parte convencional superior deberá cumplir con los criterios y normativas habituales de aplicación.
5. La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador solar al acumulador se realizará, preferentemente, a una altura comprendida entre el 50% y el 75 % de la altura total del mismo, y siempre por debajo de la zona de transición. La conexión de salida de agua fría hacia el intercambiador se realizará por la parte inferior del acumulador.

6. Las entradas de agua estarán equipadas con una placa deflectora o equivalente, a fin de que la velocidad residual no destruya la estratificación en el acumulador.

7. No existirá recirculación del circuito de distribución de consumo de A.C.S.

En el caso de equipos prefabricados que no cumpliendo lo indicado anteriormente en este apartado, vengan preparados de fábrica para albergar un sistema auxiliar eléctrico, se deberá anular esta posibilidad de forma permanente, mediante sellado irreversible u otro medio.

#### **3.3.4. Diseño del sistema de intercambio**

La potencia mínima de diseño del intercambiador independiente,  $P$ , en vatios, en función del área de captadores  $A$ , en metros cuadrados, cumplirá la condición:

$$P \geq 500 \cdot A$$

El intercambiador independiente será de placas de acero inoxidable o cobre y deberá soportar las temperaturas y presiones máximas de trabajo de la instalación. El intercambiador del circuito de captadores incorporado al acumulador solar estará situado en la parte inferior de este último y podrá ser de tipo sumergido o de doble envolvente. El intercambiador sumergido podrá ser de serpentín o de haz tubular. La relación entre la superficie útil de intercambio del intercambiador incorporado y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.

En caso de aplicación para A.C.S. se puede utilizar el circuito de consumo con un intercambiador, teniendo en cuenta que con el sistema de energía auxiliar de producción instantánea en línea o en acumulador secundario hay que elevar la temperatura hasta 60°C y siempre en el punto más alejado de consumo hay que asegurar 50 °C.



### **3.4. Diseño del circuito hidráulico**

Debe concebirse en fase de diseño un circuito hidráulico de por sí equilibrado. Si no fuera posible, el flujo debe ser controlado por válvulas de equilibrado.

En caso de aplicación para A.C.S., el circuito hidráulico del sistema de consumo deberá cumplir los requisitos especificados en UNE-EN 806-1.

En cualquier caso los materiales del circuito deberán cumplir lo especificado en ISO/TR 10217.

#### **3.4.1. Tuberías**

Para evitar pérdidas térmicas, la longitud de tuberías del sistema deberá ser tan corta como sea posible, evitando al máximo los codos y pérdidas de carga en general.

El diseño y los materiales deberán ser tales que no exista posibilidad de formación de obturaciones o depósitos de cal en sus circuitos que influyan drásticamente en el rendimiento del sistema.

#### **3.4.2. Bombas**

Si el circuito de captadores está dotado con una bomba de circulación, la caída de presión se debería mantener aceptablemente baja en todo el circuito.

Siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.

En instalaciones con superficies de captación superiores a 50 m<sup>2</sup> se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario. En este caso se establecerá el funcionamiento alternativo de las mismas, de forma manual o automática.

Las tuberías conectadas a las bombas se soportarán en las inmediaciones de éstas, de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos de torsión o flexión. El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.

En instalaciones de piscinas la disposición de los elementos será la siguiente: el filtro ha de colocarse siempre entre la bomba y los captadores y el sentido de la corriente ha de ser bombafiltro-captadores, para evitar que la resistencia del filtro provoque una sobrepresión perjudicial para los captadores, prestando especial atención a su mantenimiento. La impulsión de agua caliente deberá hacerse por la parte inferior de la piscina, quedando la impulsión de agua filtrada en superficie.

#### **3.4.3. Vasos de expansión**

Los vasos de expansión preferentemente se conectarán en la aspiración de la bomba.

Cuando no se cumpla el punto anterior, la altura en la que se situarán los vasos de expansión abiertos será tal que asegure el no desbordamiento del fluido y la no introducción de aire en el circuito primario.

#### **3.4.4. Purga de aire**

En los puntos altos de la salida de baterías de captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático. El volumen útil del botellín será superior a 100 cm<sup>3</sup>. Este volumen podrá disminuirse si se instala a la salida del circuito solar y antes del intercambiador un desaireador con purgador automático.

#### **3.4.5. Drenaje**

Los conductos de drenaje de las baterías de captadores se diseñarán en lo posible de forma que no puedan congelarse.

### **3.5. Diseño del sistema de energía auxiliar**

Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica, las instalaciones de energía solar deben disponer de un sistema de energía auxiliar.

Por razones de eficiencia energética, entre otras, se desaconseja la utilización de energía eléctrica efecto Joule como fuente auxiliar, especialmente en los casos de altos consumos y fracciones solares anuales bajas.

Queda prohibido el uso de sistemas de energía auxiliar en el circuito primario de captadores.

El diseño del sistema de energía auxiliar se realizará en función de la aplicación (o aplicaciones) de la instalación, de forma que sólo entre en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y que se aproveche lo máximo posible la energía extraída del campo de captación solar. Para ello se seguirán los siguientes criterios:

1. Para pequeñas cargas de consumo se recomienda usar un sistema de energía auxiliar en línea, siendo para estos casos los sistemas de gas modulantes en temperatura los más idóneos.
2. En caso de aceptarse, la instalación de una resistencia eléctrica como sistema de energía auxiliar dentro del acumulador solar, su conexión, salvo que se apruebe expresamente otro procedimiento, sólo se podrá hacer mediante un pulsador manual y la desconexión será automática a la temperatura de referencia. Adicionalmente, se instalará un termómetro en la parte baja de la zona de calentamiento con energía convencional cuya lectura sea fácilmente visible para el usuario.

3. No se recomienda la conexión de un retorno desde el acumulador de energía auxiliar al acumulador solar, salvo que existan períodos de bajo consumo estacionales, en los que se prevea elevadas temperaturas en el acumulador solar. La instalación térmica deberá efectuarse de manera que en ningún caso se introduzca en el acumulador solar energía procedente de la fuente auxiliar.
4. Para la preparación de agua caliente sanitaria, se permitirá la conexión del sistema de energía auxiliar en paralelo con la instalación solar cuando se cumplan los siguientes requisitos:
  - Exista previamente un sistema de energía auxiliar constituido por uno o varios calentadores instantáneos no modulantes y sin que sea posible regular la temperatura de salida del agua.
  - Exista una preinstalación solar que impida o dificulte el conexionado en serie.
5. Para sistemas con energía auxiliar en paralelo y especialmente en aplicaciones de climatización, usos industriales y otras aplicaciones en ese rango de temperaturas, es necesario un sistema de regulación del agua calentada por el sistema solar y auxiliar de forma que se aproveche al máximo la energía solar.

Para A.C.S., el sistema de aporte de energía auxiliar con acumulación o en línea siempre dispondrá de un termostato de control sobre la temperatura de preparación que en condiciones normales de funcionamiento permitirá cumplir con el RD 865/2003. Este punto no será de aplicación en los calentadores instantáneos de gas no modulantes.

En el caso de climatización de piscinas, el termostato de control sobre la temperatura se equilibrará de forma que se cumpla lo establecido por el RITE en ITE 10.2.1.2.

En caso de climatización, el termostato de control estará ajustado en función de la aplicación de frío o calor de forma automática o manual.

Cuando el sistema de energía auxiliar sea eléctrico, la potencia correspondiente será inferior a 300 W por cada metro cuadrado de superficie captadora. Para instalaciones de tamaño inferior a 5 m<sup>2</sup> la potencia podrá ser de 1500 W. En el caso de resistencias sumergidas, los valores de potencia disminuirán hasta 150 W por metro cuadrado y hasta 750 W para instalaciones de tamaño inferior a 5 m<sup>2</sup>.

### **3.6. Diseño del sistema eléctrico y de control**

El diseño del sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprende los siguientes sistemas:

- Control de funcionamiento del circuito primario y secundario (si existe).
- Sistemas de protección y seguridad de las instalaciones contra sobrecalentamientos, heladas, etc.

El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.

Con independencia de que realice otras funciones, el sistema de control se realizará por control diferencial de temperaturas, mediante un dispositivo electrónico (módulo de control diferencial, en los esquemas representado por MCD) que compare la temperatura de captadores con la temperatura de acumulación o retorno, como por ejemplo ocurre en la acumulación distribuida.

El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2 °C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7 °C. La diferencia

de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor de 2 °C. De esta forma el funcionamiento de la parte solar de una instalación se optimiza. Para optimizar el aprovechamiento solar de la instalación y, cuando exista intercambiador exterior, se podrán instalar también dos controles diferenciales.

El sistema de control asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior a la de congelación del fluido.

Las instalaciones con varias aplicaciones deberán ir dotadas con un sistema individual para seleccionar la puesta en marcha de cada una de ellas, complementado con otro que regule la aportación de energía a la misma. Esto se puede realizar por control de temperatura o caudal actuando sobre una válvula de reparto, de tres vías todo o nada, bombas de circulación... o por combinación de varios mecanismos.

Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores, de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación.

Cuando exista, el sensor de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior, en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.

### **3.7. Diseño del sistema de monitorización**

Para el caso de instalaciones mayores de 20 m<sup>2</sup> se deberá disponer al menos de un sistema analógico de medida local que indique como mínimo las siguientes variables:

Opción 1:

- Temperatura de entrada de agua fría de red
- Temperatura de salida del acumulador solar

- Caudal de agua fría de red

Opción 2:

- Temperatura inferior del acumulador solar
- Temperatura de captadores
- Caudal por el circuito primario

El tratamiento de los datos proporcionará al menos la energía solar térmica acumulada a lo largo del tiempo.

# **ANEXO I**

## **NORMATIVA DE APLICACIÓN Y CONSULTA**





## **Normativa de aplicación y consulta**

### **I.1 Normativa de aplicación**

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Reglamento de Recipientes a Presión (RAP).

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC.BT).

Normas Básicas de la Edificación: *Estructuras de Acero en la Edificación* (NBE-EA.95).

Normas Básicas de la Edificación: *Condiciones Acústicas en los Edificios* (NBE-CA).

Normas Básicas de la Edificación: *Condiciones de Protección contra Incendios en los Edificios* (NBE-CPI).

Ordenanzas de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OSHT).

Ley de Protección del Ambiente Atmosférico (LPAA).

Ley número 88/67 de 8 de noviembre: *Sistema Internacional de Unidades de Medida S.I.*

Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

Orden de 28 de julio de 1980, por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los paneles solares.

Orden ITC/71/2007, de 22-01-2007, por la que se modifica el anexo de la Orden 28-07-1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.

Orden ITC/2761/2008, de 26 de septiembre, por la que se amplía el plazo establecido en la disposición transitoria segunda de la Orden ITC/71/2007, de 22 de enero, por la que se modifica el anexo de la Orden de 28 de julio de 1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.

## **I.2 Normativa de consulta**

UNE-EN 12975-1: *Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales.*

UNE-EN 12975-2: *Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 12976-1: *Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares prefabricados.*

*Parte 1: Requisitos generales.*

UNE-EN 12976-2: *Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares prefabricados.*

*Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 12977-1: *Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares a medida.*

*Parte 1: Requisitos generales.*

UNE-EN 12977-2: *Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares a medida.*

*Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 12977-3: *Sistemas solares térmicos y sus componentes.*

*Parte 3: Caracterización del funcionamiento de acumuladores para las instalaciones de calefacción solares.*

UNE 94002: *Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda de energía térmica.*

UNE 94003: *Datos climáticos para el dimensionado de las instalaciones solares térmicas.*

prEN 806-1: *Specifications for installations inside buildings conveying water for human consumption. Part 1: General.*

prEN 1717: *Protection against pollution of potable water in drinking water installations and general requirements of devices to prevent pollution by back flow.*

ENV 1991-2-3: *Eurocode 1. Basis of design and actions on structures. Part 2-3: Action on structures; snow loads.*

ENV 1991-2-4: *Eurocode 1. Basis of design and actions on structures. Part 2-4: Action on structures; wind loads.*

EN 60335-1/1995: *Safety of household and similar electrical appliances. Part 1: General requirements (IEC 335-1/1991 modified).*

EN 60335-2-21: *Safety of household and similar electrical appliances. Part 2: Particular requirements for storage water heaters (IEC 335-2-21/1989 + Amendments 1/1990 and 2/1990, modified).*

ENV 61024-1: *Protection of structures against lightning. Part 1: General principles (IEC 1024-1/1990, modified).*

ISO 9488: *Energia solar. Vocabulario.*

Se considerará la edición más reciente de las normas antes mencionadas, con las últimas modificaciones oficialmente aprobadas.

## **ANEXO II**

### **DEFINICIONES**



## Definiciones

### II.1 Parámetros ambientales

**Radiación solar:** Energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas.

**Radiación solar directa:** Radiación solar incidente sobre un plano dado, procedente de un pequeño ángulo sólido centrado en el disco solar.

**Radiación solar hemisférica:** Radiación solar incidente en una superficie plana dada, recibida desde un ángulo sólido de  $2\pi$  sr (del hemisferio situado por encima de la superficie). Hay que especificar la inclinación y azimut de la superficie receptora.

**Radiación solar difusa:** Radiación solar hemisférica menos la radiación solar directa.

**Radiación solar global:** Radiación solar hemisférica recibida en un plano horizontal.

**Irradiancia solar:** Potencia radiante incidente por unidad de superficie sobre un plano dado.

Se expresa en  $\text{W/m}^2$ .

**Irradiancia solar directa:** Cociente entre el flujo radiante recibido en una superficie plana dada, procedente de un pequeño ángulo sólido centrado en el disco solar, y el área de dicha superficie. Si el plano es perpendicular al eje del ángulo sólido, la irradiancia solar recibida se llama directa normal. Se expresa en  $\text{W/m}^2$ .

**Irradiancia solar difusa:** Irradiancia de la radiación solar difusa sobre una superficie receptora plana. Hay que especificar la inclinación y el azimut de la superficie receptora.

**Irradiancia solar reflejada:** La radiación por unidad de tiempo y unidad de área que, procedente de la reflexión de la radiación solar en el suelo y otros objetos, incide sobre una superficie.

**Irradiación:** Energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, obtenida por integración de la irradiancia durante un

intervalo de tiempo dado, normalmente una hora o un día. Se expresa en MJ/m<sup>2</sup> o kWh/m<sup>2</sup>.

**Aire ambiente:** Aire (tanto interior como exterior) que envuelve a un acumulador de energía térmica, a un captador solar o a cualquier objeto que se esté considerando.

## II.2 Instalación

**Instalaciones abiertas:** Instalaciones en las que el circuito primario está comunicado de forma permanente con la atmósfera.

**Instalaciones cerradas:** Instalaciones en las que el circuito primario no tiene comunicación directa con la atmósfera.

**Instalaciones de sistema directo:** Instalaciones en las que el fluido de trabajo es la propia agua de consumo que pasa por los captadores.

**Instalaciones de sistema indirecto:** Instalaciones en las que el fluido de trabajo se mantiene en un circuito separado, sin posibilidad de comunicarse con el circuito de consumo.

**Instalaciones por termosifón:** Instalaciones en las que el fluido de trabajo circula por convección libre.

**Instalación con circulación forzada:** Instalación equipada con dispositivos que provocan la circulación forzada del fluido de trabajo.

**Circuito primario:** Circuito del que forman parte los captadores y las tuberías que los unen, en el cual el fluido recoge la energía solar y la transmite.

**Circuito secundario:** Circuito en el que se recoge la energía transferida del circuito primario para ser distribuida a los puntos de consumo.

**Circuito de consumo:** Circuito por el que circula agua de consumo.

**Sistema solar prefabricado:** Sistema de energía solar para los fines de preparación sólo de agua caliente, ya sea como un sistema compacto o como un sistema partido. Consiste bien en un sistema



integrado o bien un conjunto y configuración uniformes de componentes. Se produce bajo condiciones que se presumen uniformes y ofrecidas a la venta bajo un solo nombre comercial. Un solo sistema puede ser ensayado como un todo en un laboratorio, dando lugar a resultados que representan sistemas con la misma marca comercial, configuración, componentes y dimensiones. Sistemas de energía auxiliar conectados en serie con el sistema solar prefabricado no se consideran partes del mismo.

**Sistema compacto:** Equipo solar prefabricado cuyos elementos se encuentran montados en una sola unidad, aunque físicamente pueden estar diferenciados.

**Sistema partido:** Equipo solar prefabricado cuyos elementos principales (captación y acumulación) se pueden encontrar a una distancia física relevante.

**Sistema integrado:** Equipo solar prefabricado cuyos elementos principales (captación y acumulación) constituyen un único componente y no es posible diferenciarlos físicamente.

### II.3 Captadores

**Captador solar térmico:** Dispositivo diseñado para absorber la radiación solar y transmitir la energía térmica así producida a un fluido de trabajo que circula por su interior.

**Captador solar de líquido:** Captador solar que utiliza un líquido como fluido de trabajo.

**Captador solar de aire:** Captador solar que utiliza aire como fluido de trabajo.

**Captador solar plano:** Captador solar sin concentración cuya superficie absorbedora es sensiblemente plana.

**Captador sin cubierta:** Captador solar sin cubierta sobre el absorbedor.

**Captador de concentración:** Captador solar que utiliza reflectores, lentes u otros elementos ópticos para redireccionar y concentrar sobre el absorbedor la radiación solar que atraviesa la apertura.

**Captador de vacío:** Captador en el que se ha realizado el vacío en el espacio entre absorbedor y cubierta.

**Captador de tubos de vacío:** Captador de vacío que utiliza un tubo transparente (normalmente de cristal) donde se ha realizado el vacío entre la pared del tubo y el absorbedor.

**Cubierta:** Elemento o elementos transparentes (o translúcidos) que cubren el absorbedor para reducir las pérdidas de calor y protegerlo de la intemperie.

**Absorbedor:** Componente de un captador solar cuya función es absorber la energía radiante y transferirla en forma de calor a un fluido.

**Placa absorbente:** Absorbedor cuya superficie es sensiblemente plana.

**Apertura:** Superficie a través de la cual la radiación solar no concentrada es admitida en el captador.

**Área de apertura:** Es la máxima proyección plana de la superficie del captador transparente expuesta a la radiación solar incidente no concentrada.

**Área total:** Área máxima proyectada por el captador completo, excluyendo cualquier medio de soporte y acoplamiento de los tubos expuesta.

**Fluido de transferencia de calor o fluido de trabajo:** Es el fluido encargado de recoger y transmitir la energía captada por el absorbedor.

**Carcasa:** Es el componente del captador que conforma su superficie exterior, fija la cubierta, contiene y protege a los restantes componentes del captador y soporta los anclajes del mismo.

**Materiales aislantes:** Son aquellos materiales de bajo coeficiente de conductividad térmica cuyo empleo en el captador solar tiene por objeto reducir las pérdidas de calor por la parte posterior y laterales.

**Junta de cubierta:** Es un elemento cuya función es asegurar la estanquidad de la unión cubierta-carcasa.

**Temperatura de estancamiento del captador:** Corresponde a la máxima temperatura del fluido que se obtiene cuando, sometido el captador a altos niveles de radiación y temperatura ambiente y siendo la velocidad del viento despreciable, no existe circulación en el captador y se alcanzan condiciones cuasi-estacionarias.

## II.4 Componentes

**Intercambiador de calor:** Dispositivo en el que se produce la transferencia de energía del circuito primario al circuito secundario.

**Acumulador solar o depósito solar:** Depósito en el que se acumula el agua calentada por energía solar.

**Depósito de expansión:** Dispositivo que permite absorber las variaciones de volumen y presión en un circuito cerrado producidas por las variaciones de temperatura del fluido circulante. Puede ser abierto o cerrado, según esté o no en comunicación con la atmósfera.

**Bomba de circulación:** Dispositivo electromecánico que produce la circulación forzada del fluido a través de un circuito.

**Purgador de aire:** Dispositivo que permite la salida del aire acumulado en el circuito. Puede ser manual o automático.

**Válvula de seguridad:** Dispositivo que limita la presión máxima del circuito.

**Válvula anti-retorno:** Dispositivo que evita el paso de fluido en un sentido.

**Controlador diferencial de temperaturas:** Dispositivo electrónico que comanda distintos elementos eléctricos de la instalación

(bombas, electroválvulas, etc.) en función, principalmente, de las temperaturas en distintos puntos de dicha instalación.

**Termostato de seguridad:** Dispositivo utilizado para detectar la temperatura máxima admisible del fluido de trabajo en el algún punto de la instalación.

**Controlador anti-hielo:** Dispositivo que impide la congelación del fluido de trabajo.

## II.5 Otras definiciones

**Almacenamiento estacional:** Es el que se produce o realiza durante una estación o parte del año.

**Archivo de clasificación:** Es el archivo de documentación técnica para sistemas solares de calentamiento pequeños a medida de una Compañía, el cual incluye:

- Clasificación completa para sistemas pequeños a medida.
- Descripción completa de todas las configuraciones del sistema.
- Descripción completa de todas las combinaciones comercializadas de las configuraciones del sistema y componentes, incluyendo dimensiones de éstos y número de unidades.
- Información técnica de todo.

Referencia: Sistemas solares de calentamiento pequeños a medida, UNE 12977-1, párrafo 3.2.

**Archivo de documentación:** La documentación del sistema deberá ser completa y entendible:

- Todos los componentes de cada sistema pequeño a medida deberán ir provistos con un conjunto de instrucciones de montaje y funcionamiento entendibles, así como recomendaciones de servicio. Esta documentación deberá incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje, instalación, operación y mantenimiento.

Estas instrucciones deberán incluir toda la información que contiene la lista de 4.6 de EN 12976-1.

- Cada sistema grande a medida deberá ir provisto con un conjunto de instrucciones de montaje y funcionamiento, así como recomendaciones de servicio. Esta documentación deberá incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje, instalación, operación y mantenimiento y todos los registros de arranque inicial y puesta en servicio de acuerdo con 6.6. de la UNE 12977-1
- Los documentos deberán ser guardados en un lugar visible (preferentemente cerca del acumulador), protegidos del calor, agua y polvo.

## **ANEXO III**

### **CÁLCULO DE DEMANDAS ENERGÉTICAS**



## **Cálculo de demandas energéticas**

### **III.1 Cálculo de demanda energética en instalaciones de calentamiento de piscinas**

La demanda energética viene dada por las pérdidas térmicas en la pila de la piscina, calculándose de forma diferente si se trata de piscina cubierta o al aire libre.

Se seguirán las indicaciones relativas a la climatización de piscinas contenidas en la sección H4 del Código Técnico de la Edificación.

#### **III.1.A Cálculo en piscina cubierta**

En piscinas cubiertas las pérdidas vienen dadas por:

- Las pérdidas por evaporación representan entre el 70 % y el 80 % de las pérdidas totales.
- Las pérdidas por radiación representan entre el 15 % y el 20 % de las pérdidas totales.
- Las pérdidas por conducción son despreciables.

Para el cálculo de las pérdidas energéticas en piscinas cubiertas, se utilizará la siguiente fórmula empírica:

$$P \text{ (en kW)} = (130 - 3 t_{ws} + 0,2 t_{ws}^2) (S_w/1000)$$

Donde:

$t_{ws}$  = Temperatura del agua (°C)

$S_w$  = Superficie de la piscina (m<sup>2</sup>)

#### **III.1.B Cálculo en piscina al aire libre**

En piscinas al aire libre se tendrán en cuenta los distintos tipos de pérdida de energía:

- Por radiación del agua hacia la atmósfera, más acentuadas por la noche.



- Por evaporación del agua.
- Por convección, influidas por el viento.
- Por conducción, con las paredes de la piscina.
- Por arrastre y salpicaduras de agua.

Para el cálculo de las pérdidas energéticas en piscinas al aire libre, se utilizará la siguiente fórmula empírica:

$$P [\text{en kW}] = [(28 + 20v) (t_{ws} - t_{bs}) S_w] / 1000$$

Donde:

$t_{ws}$  = Temperatura del agua (°C)

$t_{bs}$  = Temperatura del aire (°C)

$v$  = Velocidad del viento (m/s)

$S_w$  = Superficie de la piscina (m<sup>2</sup>)

Las piscinas al aire libre se deberán ubicar preferentemente en lugares en los que la velocidad del viento sea despreciable o lo más baja posible.

### **III.2 Cálculo de demanda energética en instalaciones de agua caliente sanitaria**

La demanda energética en instalaciones de agua caliente sanitaria viene dada por el volumen de consumo diario y las temperaturas de preparación y de agua fría.

En instalaciones existentes para las que se disponga de datos de consumo medidos en años anteriores, se utilizarán estos datos previa justificación de los mismos. En instalaciones, nuevas o existentes, para las que se disponga de datos de consumo de instalaciones similares, podrá utilizarse éstos previa justificación.

En caso de no disponer de datos, se utilizarán para el diseño los consumos unitarios máximos expresados en la tabla 3, en la que se ha considerado una temperatura de referencia de 60 °C.

*Tabla 3*

<i>Criterio de consumo</i>	<i>Litros/día</i>	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hoteles (4 estrellas)	70	por cama
Hoteles (3 estrellas)	55	por cama
Hoteles/Hostales (2 estrellas)	40	por cama
Campings	40	por emplazamiento
Hostales/Pensiones (1 estrella)	35	por cama
Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Oficinas	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

El cálculo del número de personas por vivienda deberá hacerse utilizando los valores mínimos siguientes:

<i>Nº de dormitorios</i>	<i>Nº de personas</i>
1	1,5
2	3
3	4
4	6
5	7
6	8
7	9
8	9
Más de 8	Igual que el número de dormitorios

*Tabla 3.1.*

Adicionalmente se tendrán en cuenta las pérdidas de distribución/recirculación del agua a los puntos de consumo.

A efectos del cálculo de la carga de consumo, los valores de temperatura de agua fría se podrán tomar de la tabla 4. También se podrán tomar en consideración los indicados en la norma UNE 94002.

La utilización de otros datos de temperaturas de agua fría deberá ser justificada indicando la procedencia y proceso de obtención de los mismos.

**Tabla 4. Temperatura mínima media del agua de la red general, en °C, obtenida a partir de medidas directas. Los datos han sido agrupados en seis perfiles característicos. (Fuente: CENSOLAR).**

**Nota:** También se podrán tomar en consideración los valores indicados en la norma UNE 94002.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
2 ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
3 ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
4 ALMERÍA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
5 ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
6 ÁVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
7 BADAJOZ	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
8 BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
9 BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
10 BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
11 CÁCERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
12 CÁDIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
13 CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
14 CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
15 CEUTA	8	9	10	12	13	13	14	13	13	12	11	8	11,3
16 CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
17 CÓRDOBA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
18 LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
19 CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
20 GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
21 GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
22 GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
23 GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
24 HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
25 HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
26 JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12,3
27 LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
28 LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
29 LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
30 MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
31 MÁLAGA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
32 MELILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
33 MURCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
34 NAVARRA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
35 ORENSE	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,2
36 PALENCIA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
37 LAS PALMAS	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
38 PONTEVEDRA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
39 LA RIOJA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
40 SALAMANCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
41 STA. C. DE TENERIFE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
42 SEGOVIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
43 SEVILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
44 SORIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
45 TARRAGONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
46 TERUEL	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
47 TOLEDO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
48 VALENCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
49 VALLADOLID	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
50 VIZCAYA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
51 ZAMORA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
52 ZARAGOZA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3

## **ANEXO IV**

### **CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN**



## Cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación

### IV.1 Introducción

El objeto de este Anexo es determinar los límites en la orientación e inclinación de los captadores de acuerdo a las pérdidas máximas permisibles.

Las pérdidas por este concepto se calcularán en función de:

- Ángulo de inclinación,  $\beta$ , definido como el ángulo que forma la superficie de los captadores con el plano horizontal (figura 4). Su valor es  $0^\circ$  para captadores horizontales y  $90^\circ$  para verticales.
- Ángulo de azimut,  $\alpha$ , definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano del lugar (figura 5). Valores típicos son  $0^\circ$  para captadores orientados al Sur,  $-90^\circ$  para captadores orientados al Este y  $+90^\circ$  para captadores orientados al Oeste.

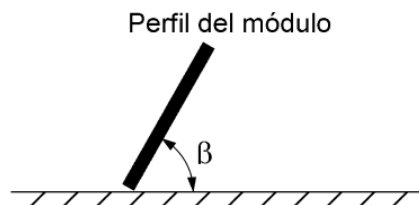


Fig. 4

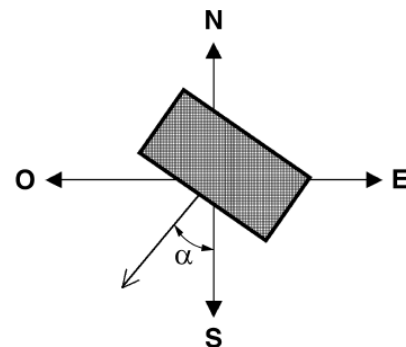


Fig. 5

### IV.2 Procedimiento

Habiendo determinado el ángulo de azimut del captador, se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas

respecto a la inclinación óptima establecida. Para ello se utilizará la figura 6, válida para una la latitud ( $\varnothing$ ) de  $41^\circ$ , de la siguiente forma:

- Conocido el azimut, determinamos en la figura 6 los límites para la inclinación en el caso  $\varnothing = 41^\circ$ . Para el caso general, las pérdidas máximas por este concepto son del 10 %, para superposición, del 20 % y para integración arquitectónica, del 40 %. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de azimut nos proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima.
- Si no hay intersección entre ambas, las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los límites. Si ambas curvas se intersectan, se obtienen los valores para latitud  $\varnothing = 41^\circ$  y se corrigen de acuerdo con lo que se cita a continuación.

Se corregirán los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión y la de  $41^\circ$ , de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\text{Inclinación máxima} = \text{inclinación } (\varnothing = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud});$$

$$\text{Inclinación mínima} = \text{inclinación } (\varnothing = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud}); \text{ siendo } 0^\circ \text{ su valor mínimo.}$$

En casos cerca del límite y como instrumento de verificación, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \times [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2]$$

$$\text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \times [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2] \text{ para } \beta \leq 15^\circ$$



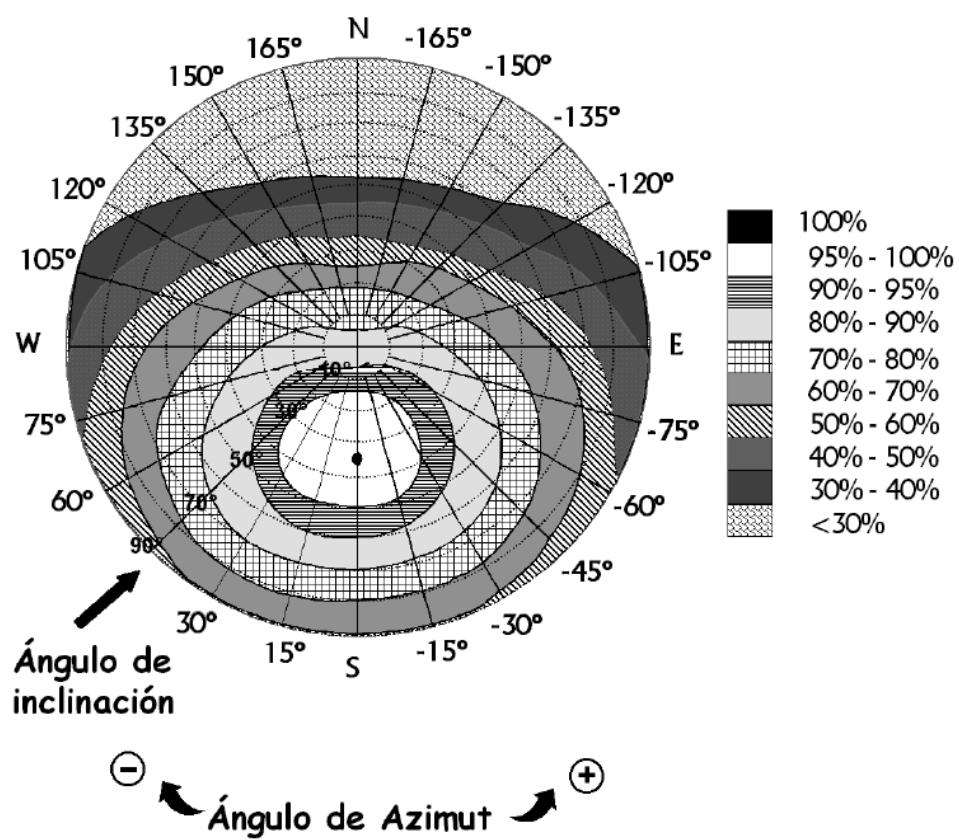


Fig. 6

# **ANEXO V**

## **CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE RADIACIÓN SOLAR POR SOMBRAS**



## **Cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras**

### **V.1 Introducción**

El presente Anexo describe un método de cálculo de las pérdidas de radiación solar que experimenta una superficie debidas a sombras circundantes. Tales pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre la mencionada superficie, de no existir sombra alguna.

### **V.2 Procedimiento**

El procedimiento consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias aparentes del Sol. Los pasos a seguir son los siguientes:

#### **V.2.1 Obtención del perfil de obstáculos**

Localización de los principales obstáculos que afectan a la superficie, en términos de sus coordenadas de posición azimuth (ángulo de desviación con respecto a la dirección Sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal). Para ello puede utilizarse un teodolito.

#### **V.2.2 Representación del perfil de obstáculos**

Representación del perfil de obstáculos en el diagrama de la figura 8, en el que se muestra la banda de trayectorias del Sol a lo largo de todo el año, válido para localidades de la Península Ibérica y Baleares (para las Islas Canarias el diagrama debe desplazarse 12° en sentido vertical ascendente). Dicha banda se encuentra dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por una letra y un número (A1, A2,... D14).

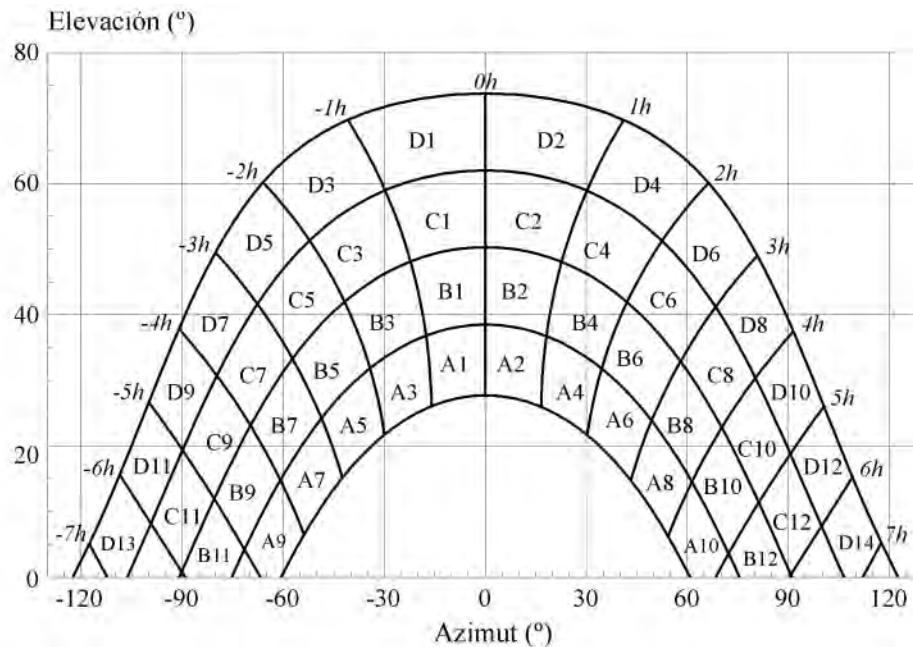


Fig. 8. Diagrama de trayectorias del Sol. (Nota: Los grados de ambas escalas son sexagesimales).

### V.2.3 Selección de la tabla de referencia para los cálculos

Cada una de las porciones de la figura 8 representa el recorrido del Sol en un cierto período de tiempo (una hora a lo largo de varios días) y tiene, por tanto, una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio. Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación, en particular aquella que resulte interceptada por el obstáculo. Deberá escogerse como referencia para el cálculo la tabla más adecuada de entre las que se incluyen en este Anexo.

### V.2.4 Cálculo final

La comparación del perfil de obstáculos con el diagrama de trayectorias del Sol permite calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar global que incide sobre la superficie, a lo largo de todo el año. Para ello se han de sumar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado. En el caso de ocultación parcial se utilizará el factor de llenado (fracción

oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores: 0,25; 0,50; 0,75 ó 1.

### **V.3 Tablas de referencia**

Las tablas incluidas en esta sección se refieren a distintas superficies caracterizadas por sus ángulos de inclinación y orientación ( $\beta$  y  $\alpha$ , respectivamente). Deberá escogerse aquella que resulte más parecida a la superficie en estudio. Los números que figuran en cada casilla se corresponden con el porcentaje de irradiación solar global anual que se perdería si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo.

Tabla 5-A

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,03
11	0,00	0,01	0,12	0,44
9	0,13	0,41	0,62	1,49
7	1,00	0,95	1,27	2,76
5	1,84	1,50	1,83	3,87
3	2,70	1,88	2,21	4,67
1	3,15	2,12	2,43	5,04
2	3,17	2,12	2,33	4,99
4	2,70	1,89	2,01	4,46
6	1,79	1,51	1,65	3,63
8	0,98	0,99	1,08	2,55
10	0,11	0,42	0,52	1,33
12	0,00	0,02	0,10	0,40
14	0,00	0,00	0,00	0,02

Tabla 5-B

$\beta = 0^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,18
11	0,00	0,01	0,18	1,05
9	0,05	0,32	0,70	2,23
7	0,52	0,77	1,32	3,56
5	1,11	1,26	1,85	4,66
3	1,75	1,60	2,20	5,44
1	2,10	1,81	2,40	5,78
2	2,11	1,80	2,30	5,73
4	1,75	1,61	2,00	5,19
6	1,09	1,26	1,65	4,37
8	0,51	0,82	1,11	3,28
10	0,05	0,33	0,57	1,98
12	0,00	0,02	0,15	0,96
14	0,00	0,00	0,00	0,17

Tabla 5-C

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,15
11	0,00	0,01	0,02	0,15
9	0,23	0,50	0,37	0,10
7	1,66	1,06	0,93	0,78
5	2,76	1,62	1,43	1,68
3	3,83	2,00	1,77	2,36
1	4,36	2,23	1,98	2,69
2	4,40	2,23	1,91	2,66
4	3,82	2,01	1,62	2,26
6	2,68	1,62	1,30	1,58
8	1,62	1,09	0,79	0,74
10	0,19	0,49	0,32	0,10
12	0,00	0,02	0,02	0,13
14	0,00	0,00	0,00	0,13

Tabla 5-D

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 30^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	0,00	0,03	0,06
9	0,02	0,10	0,19	0,56
7	0,54	0,55	0,78	1,80
5	1,32	1,12	1,40	3,06
3	2,24	1,60	1,92	4,14
1	2,89	1,98	2,31	4,87
2	3,16	2,15	2,40	5,20
4	2,93	2,08	2,23	5,02
6	2,14	1,82	2,00	4,46
8	1,33	1,36	1,48	3,54
10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,00	0,22

Tabla 5-E

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = 30^\circ$	A	B	C	D
13	0,10	0,00	0,00	0,33
11	0,06	0,01	0,15	0,51
9	0,56	0,06	0,14	0,43
7	1,80	0,04	0,07	0,31
5	3,06	0,55	0,22	0,11
3	4,14	1,16	0,87	0,67
1	4,87	1,73	1,49	1,86
2	5,20	2,15	1,88	2,79
4	5,02	2,34	2,02	3,29
6	4,46	2,28	2,05	3,36
8	3,54	1,92	1,71	2,98
10	2,26	1,19	1,19	2,12
12	1,17	0,12	0,53	1,22
14	0,22	0,00	0,00	0,24

Tabla 5-F

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 60^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,14
11	0,00	0,00	0,08	0,16
9	0,02	0,04	0,04	0,02
7	0,02	0,13	0,31	1,02
5	0,64	0,68	0,97	2,39
3	1,55	1,24	1,59	3,70
1	2,35	1,74	2,12	4,73
2	2,85	2,05	2,38	5,40
4	2,86	2,14	2,37	5,53
6	2,24	2,00	2,27	5,25
8	1,51	1,61	1,81	4,49
10	0,23	0,94	1,20	3,18
12	0,00	0,09	0,52	1,96
14	0,00	0,00	0,00	0,55

Tabla 5-G

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = 60^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,43
11	0,00	0,01	0,27	0,78
9	0,09	0,21	0,33	0,76
7	0,21	0,18	0,27	0,70
5	0,10	0,11	0,21	0,52
3	0,45	0,03	0,05	0,25
1	1,73	0,80	0,62	0,55
2	2,91	1,56	1,42	2,26
4	3,59	2,13	1,97	3,60
6	3,35	2,43	2,37	4,45
8	2,67	2,35	2,28	4,65
10	0,47	1,64	1,82	3,95
12	0,00	0,19	0,97	2,93
14	0,00	0,00	0,00	1,00

Tabla 5-H

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = -30^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,34	1,28	1,73	3,79
5	2,17	1,79	2,21	4,70
3	2,90	2,05	2,43	5,20
1	3,12	2,13	2,47	5,20
2	2,88	1,96	2,19	4,77
4	2,22	1,60	1,73	3,91
6	1,27	1,11	1,25	2,84
8	0,52	0,57	0,65	1,64
10	0,02	0,10	0,15	0,50
12	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,00	0,00	0,00	0,08

Tabla 5-I

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = -30^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,24
11	0,00	0,05	0,60	1,28
9	0,43	1,17	1,38	2,30
7	2,42	1,82	1,98	3,15
5	3,43	2,24	2,24	3,51
3	4,12	2,29	2,18	3,38
1	4,05	2,11	1,93	2,77
2	3,45	1,71	1,41	1,81
4	2,43	1,14	0,79	0,64
6	1,24	0,54	0,20	0,11
8	0,40	0,03	0,06	0,31
10	0,01	0,06	0,12	0,39
12	0,00	0,01	0,13	0,45
14	0,00	0,00	0,00	0,27

Tabla 5-J

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = -60^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,56
11	0,00	0,04	0,60	2,09
9	0,27	0,91	1,42	3,49
7	1,51	1,51	2,10	4,76
5	2,25	1,95	2,48	5,48
3	2,80	2,08	2,56	5,68
1	2,78	2,01	2,43	5,34
2	2,32	1,70	2,00	4,59
4	1,52	1,22	1,42	3,46
6	0,62	0,67	0,85	2,20
8	0,02	0,14	0,26	0,92
10	0,02	0,04	0,03	0,02
12	0,00	0,01	0,07	0,14
14	0,00	0,00	0,00	0,12

Tabla 5-K

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = -60^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	1,01
11	0,00	0,08	1,10	3,08
9	0,55	1,60	2,11	4,28
7	2,66	2,19	2,61	4,89
5	3,36	2,37	2,56	4,61
3	3,49	2,06	2,10	3,67
1	2,81	1,52	1,44	2,22
2	1,69	0,78	0,58	0,53
4	0,44	0,03	0,05	0,24
6	0,10	0,13	0,19	0,48
8	0,22	0,18	0,26	0,69
10	0,08	0,21	0,28	0,68
12	0,00	0,02	0,24	0,67
14	0,00	0,00	0,00	0,36



### V.5 Distancia mínima entre filas de captadores

La distancia  $d$ , medida sobre la horizontal, entre una fila de captadores y un obstáculo, de altura  $h$ , que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia  $d$  será superior al valor obtenido por la expresión:

$$d = h / \tan (61^\circ - \text{latitud})$$

Donde  $1 / \tan (61^\circ - \text{latitud})$  es un coeficiente adimensional denominado  $k$ .

Algunos valores significativos de  $k$  se pueden ver en la tabla 7 en función de la latitud del lugar.

Tabla 7

Latitud	29°	37°	39°	41°	43°	45°
$k$	1,600	2,246	2,4715	2,747	3,078	3,487

En la figura 10 aparecen algunos ejemplos de la toma de datos relativos a  $h$  y  $d$ .

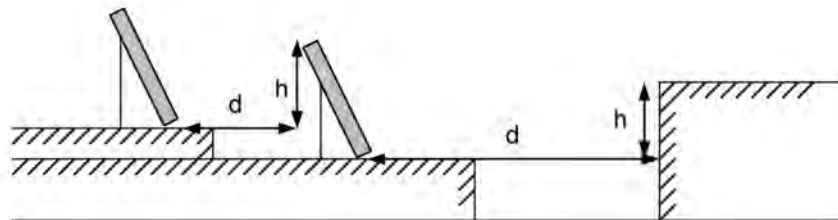


Fig. 10.

La separación entre la parte posterior de una fila y el comienzo de la siguiente no será inferior a la obtenida por la expresión anterior, aplicando  $h$  a la diferencia de alturas entre la parte alta de una fila y la parte baja de la

siguiente, efectuando todas las medidas de acuerdo con el plano que contiene a las bases de los captadores.

# **ANEXO VI**

## **COMPONENTES**



## **Componentes**

### **VI.1 Generalidades**

Los materiales de la instalación deben soportar las máximas temperaturas y presiones que puedan alcanzarse.

Todos los componentes y materiales cumplirán lo dispuesto en el Reglamento de Aparatos a Presión, que les sea de aplicación.

Cuando sea imprescindible utilizar en el mismo circuito materiales diferentes, especialmente cobre y acero, en ningún caso estarán en contacto, debiendo situar entre ambos juntas o manguitos dieléctricos. En todos los casos es aconsejable prever la protección catódica del acero.

Los materiales situados en intemperie se protegerán contra los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la humedad.

Para procesos industriales, el diseño, cálculo, montaje y características de los materiales deberán cumplir los requisitos establecidos por el proceso industrial.

Se debe tener particular precaución en la protección de equipos y materiales que pueden estar expuestos a agentes exteriores especialmente agresivos producidos por procesos industriales cercanos.

### **VI.2 Captadores solares**

Si se utilizan captadores convencionales de absorbedor metálico, ha de tenerse en cuenta que el cobre solamente es admisible si el pH del fluido en contacto con él está comprendido entre 7,2 y 7,6. Absorbedores de hierro no son aptos en absoluto.

La pérdida de carga del captador para un caudal de 1 l/min por m<sup>2</sup> será inferior a 1 m c.a.

El captador llevará, preferentemente, un orificio de ventilación, de diámetro no inferior a 4 mm, situado en la parte inferior de forma que

puedan eliminarse acumulaciones de agua en el captador. El orificio se realizará de manera que el agua pueda drenarse en su totalidad sin afectar al aislamiento.

Cuando se utilicen captadores con absorbedores de aluminio, obligatoriamente se utilizarán fluidos de trabajo con un tratamiento inhibidor de los iones de cobre y hierro.

### **VI.3 Acumuladores**

Cuando el acumulador lleve incorporada una superficie de intercambio térmico entre el fluido primario y el agua sanitaria, en forma de serpentín o camisa de doble envolvente, se denominará interacumulador.

Cuando el intercambiador esté incorporado al acumulador, la placa de identificación indicará además, los siguientes datos:

- Superficie de intercambio térmico en m<sup>2</sup>.
- Presión máxima de trabajo del circuito primario.

Cada acumulador vendrá equipado de fábrica de los necesarios manguitos de acoplamiento, soldados antes del tratamiento de protección, para las siguientes funciones:

- Manguitos roscados para la entrada de agua fría y la salida de agua caliente.
- Registro embridado para inspección del interior del acumulador y eventual acoplamiento del serpentín.
- Manguitos roscados para la entrada y salida del fluido primario.
- Manguitos roscados para accesorios como termómetro y termostato.
- Manguito para el vaciado.

Los acumuladores vendrán equipados de fábrica con las bocas necesarias soldadas antes de efectuar el tratamiento de protección interior.

El acumulador estará enteramente recubierto con material aislante, y es recomendable disponer una protección mecánica en chapa pintada al horno, PRFV, o lámina de material plástico.

Todos los acumuladores irán equipados con la protección catódica establecida por el fabricante para garantizar la durabilidad del acumulador.

Todos los acumuladores se protegerán, como mínimo, con los dispositivos indicados en el punto 5 de la Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP-11 del Reglamento de Aparatos a Presión (Orden 11764 de 31 de mayo de 1985 - BOE número 148 de 21 de junio de 1985).

La utilización de acumuladores de hormigón requerirá la presentación de un proyecto firmado por un técnico competente.

Al objeto de estas especificaciones, podrán utilizarse acumuladores de las características y tratamiento descritos a continuación:

- Acumuladores de acero vitrificado.
- Acumuladores de acero con tratamiento epoxídico.
- Acumuladores de acero inoxidable, adecuados al tipo de agua y temperatura de trabajo
- Acumuladores de cobre.
- Acumuladores no metálicos que soporten la temperatura máxima del circuito, cumplan las normas UNE que le sean de aplicación y esté autorizada su utilización por las Compañías de suministro de agua potable.
- Acumuladores de acero negro (sólo en circuitos cerrados, sin agua de consumo)

#### **VI.4 Intercambiadores de calor**

Se indicará el fabricante y modelo del intercambiador de calor, así como datos de sus características de actuación medidos por el propio fabricante o por un laboratorio acreditado.

El intercambiador seleccionado resistirá la presión máxima de trabajo de la instalación. En particular se prestará especial atención a los intercambiadores que, como en el caso de los depósitos de doble pared, presentan grandes superficies expuestas por un lado a la presión y por otro, a la atmósfera, o bien, a fluidos a mayor presión.

En ningún caso se utilizarán interacumuladores con envolvente que dificulten la convección natural en el interior del acumulador.

Los materiales del intercambiador de calor resistirán la temperatura máxima de trabajo del circuito primario y serán compatibles con el fluido de trabajo.

Los intercambiadores de calor utilizados en circuitos de agua sanitaria serán de acero inoxidable o cobre.

El diseño del intercambiador de calor permitirá su limpieza utilizando productos líquidos.

El fabricante del intercambiador de calor garantizará un factor de ensuciamiento menor al permitido en diseño, dimensionado y cálculo de Instalaciones de Energía Solar Térmica.

Los tubos de los intercambiadores de calor tipo serpentín sumergido en el depósito, tendrán diámetros interiores inferiores o iguales a una pulgada, para instalaciones por circulación forzada. En instalaciones por termosifón, tendrán un diámetro mínimo de una pulgada.

Cualquier intercambiador de calor existente entre el circuito de captadores y el sistema de suministro al consumo no debería reducir la eficiencia del captador debido a un incremento en la temperatura de funcionamiento de captadores en más de lo que los siguientes criterios especifican:

- Cuando la ganancia solar del captador haya llegado al valor máximo posible, la reducción de la eficiencia del captador



debido al intercambiador de calor no debería exceder el 10 % (en valor absoluto).

- Si se instala más de un intercambiador de calor, también este valor debería de no ser excedido por la suma de las reducciones debidas a cada intercambiador. El criterio se aplica también si existe en el sistema un intercambiador de calor en la parte de consumo.
- Si en una instalación a medida sólo se usa un intercambiador entre el circuito de captadores y el acumulador, la transferencia de calor del intercambiador de calor por unidad de área de captador no debería ser menor de  $40 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$ .

Se recomienda dimensionar el intercambiador de calor, en función de la aplicación, con las condiciones expresadas en la tabla 8.

*Tabla 8*

<i>Aplicación</i>	<i>Temperatura entrada primario</i>	<i>Temperatura salida secundario</i>	<i>Temperatura entrada secundario</i>
Piscinas	50 °C	28 °C	24 °C
Agua caliente sanitaria	60 °C	50 °C	45 °C
Calefacción a baja temperatura	60 °C	50 °C	45 °C
Refrigeración/Calefacción	105 °C	90 °C	75 °C

La pérdida de carga de diseño en el intercambiador de calor no será superior a 3 m c.a., tanto en el circuito primario como en el secundario.

El factor de ensuciamiento del intercambiador de calor no será inferior al especificado en la tabla 9 para cada tipo de agua utilizada como fluido de trabajo.

Tabla 9

<i>Circuitos de consumo</i>	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
Agua blanda y limpia	0,0006
Agua dura	0,0012
Agua muy dura y/o sucia	0,0018
Circuitos cerrados	0,0008

### VI.5 Bombas de circulación

Las bombas podrán ser del tipo en línea, de rotor seco o húmedo o de bancada. Siempre que sea posible se utilizarán bombas tipo circuladores en línea.

En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.

Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado. Las bombas serán resistentes a las averías producidas por efecto de las incrustaciones calizas.

Las bombas serán resistentes a la presión máxima del circuito. La bomba se seleccionará de forma que el caudal y la pérdida de carga de diseño se encuentren dentro de la zona de rendimiento óptimo especificado por el fabricante.

Cuando todas las conexiones son en paralelo, el caudal nominal será el igual al caudal unitario de diseño multiplicado por la superficie total de captadores conectados en paralelo. La presión de la bomba deberá compensar todas las pérdidas de carga del circuito correspondiente.

La potencia eléctrica parásita para la bomba no debería exceder los valores dados en tabla 10.

Tabla 10

<i>Sistema</i>	<i>Potencia eléctrica de la bomba</i>
Sistemas pequeños	50 W o 2 % de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores
Sistemas grandes	1 % de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores

La potencia máxima de la bomba especificada anteriormente excluye la potencia de las bombas de los sistemas de drenaje con recuperación, que sólo es necesaria para rellenar el sistema después de un drenaje.

La bomba permitirá efectuar de forma simple la operación de desaireación o purga.

## VI.6 Tuberías

En las tuberías del circuito primario podrán utilizarse como materiales el cobre y el acero inoxidable, con uniones roscadas, soldadas o embreadas.

En el circuito secundario o de servicio de agua caliente sanitaria, podrá utilizarse cobre y acero inoxidable. Además, podrán utilizarse materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito, cumplan las normas UNE que le sean de aplicación y esté autorizada su utilización por las Compañías de suministro de agua potable.

Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y uniones por capilaridad (UNE 37153).

No se utilizarán tuberías de acero negro para circuitos de agua sanitaria. Cuando se utilice aluminio en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido será inferior a 1,5 m/s y su pH estará comprendido entre 5 y 7. No se permitirá el uso de aluminio en sistemas abiertos o sistemas sin protección catódica.

Cuando se utilice acero en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido será inferior a 3 m/s en sistemas cerrados y el pH del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 9.

El diámetro de las tuberías se seleccionará de forma que la velocidad de circulación del fluido sea inferior a 2 m/s cuando la tubería discurra por locales habitados y a 3 m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados.

El dimensionado de las tuberías se realizará de forma que la pérdida de carga unitaria en tuberías nunca sea superior a 40 mm de columna de agua por metro lineal.

Las pérdidas térmicas globales del conjunto de conducciones no superarán el 4% de la potencia máxima que transporten

Para calentamiento de piscinas se recomienda que las tuberías sean de PVC y de gran diámetro, a fin de conseguir un buen caudal con la menor pérdida de carga posible, no necesitando éstas, en la mayoría de los casos, ningún tipo especial de aislamiento térmico.

Todas las redes de tuberías deben diseñarse de tal manera que puedan vaciarse de forma parcial y total, a través de un elemento que tenga un diámetro nominal mínimo de 20 mm.

## **VI.7 Válvulas**

La elección de las válvulas se realizará de acuerdo con la función que desempeñan y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura), siguiendo preferentemente los criterios que a continuación se citan:

- Para aislamiento: válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.

- Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- Para llenado: válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
- Para seguridad: válvulas de resorte.
- Para retención: válvulas de disco de doble compuerta, o de clapeta o especiales para sistemas por termosifón.

A los efectos de este PCT, no se permitirá la utilización de válvulas de compuerta.

El acabado de las superficies de asiento y obturador debe asegurar la estanquidad al cierre de las válvulas, para las condiciones de servicio especificadas.

El volante y la palanca deben ser de dimensiones suficientes para asegurar el cierre y la apertura de forma manual con la aplicación de una fuerza razonable, sin la ayuda de medios auxiliares. El órgano de mando no deberá interferir con el aislamiento térmico de la tubería y del cuerpo de válvula.

Las superficies del asiento y del obturador deben ser recambiables. La empaquetadura debe ser recambiable en servicio, con válvula abierta a tope, sin necesidad de desmontarla.

Las válvulas roscadas y las de mariposa serán de diseño tal que, cuando estén correctamente acopladas a las tuberías, no tengan lugar interferencias entre la tubería y el obturador.

En el cuerpo de la válvula irán troquelados la presión nominal PN, expresada en bar o  $\text{kp/cm}^2$ , y el diámetro nominal DN, expresado en mm o pulgadas, al menos cuando el diámetro sea igual o superior a 25 mm.

La presión nominal mínima de todo tipo de válvulas y accesorios deberá ser igual o superior a 4 kg/cm<sup>2</sup>.

Los diámetros libres en los asientos de las válvulas tienen que ser correspondientes con los diámetros nominales de las mismas, y en ningún caso inferiores a 12 mm.

Las válvulas de seguridad, por su importante función, deben ser capaces de derivar la potencia máxima del captador o grupo de captadores, incluso en forma de vapor, de manera que en ningún caso se sobrepase la máxima presión de trabajo del captador o del sistema.

Las válvulas de retención se situarán en la tubería de impulsión de la bomba, entre la boca y el manguito antivibratorio, y en cualquier caso, aguas arriba de la válvula de interceptación.

Los purgadores automáticos de aire se construirán con los siguientes materiales:

- Cuerpo y tapa de fundición de hierro o latón.
- Mecanismo de acero inoxidable.
- Flotador y asiento de acero inoxidable.
- Obturador de goma sintética.

Los purgadores automáticos resistirán la temperatura máxima de trabajo del circuito.

## **VI.8 Vasos de expansión**

### *a) Vasos de expansión abiertos*

Los vasos de expansión abiertos cumplirán los siguientes requisitos:

Los vasos de expansión abiertos se construirán soldados o remachados, en todas sus juntas, y reforzados para evitar deformaciones, cuando su volumen lo exija.

El material y tratamiento del vaso de expansión será capaz de resistir la temperatura máxima de trabajo.

El volumen útil del vaso de expansión abierto se determinará de forma que sea capaz de absorber la expansión completa del fluido de trabajo entre las temperaturas extremas de funcionamiento.

El nivel mínimo libre de agua de los vasos de expansión abiertos se situará a una altura mínima de 2,5 metros sobre el punto más alto de la instalación.

Los vasos de expansión abiertos tendrán una salida de rebosamiento.

Los vasos de expansión abiertos, cuando se utilicen como sistemas de llenado o de rellenado, dispondrán de una línea de alimentación automática, mediante sistemas tipo flotador o similar.

La salida de rebosamiento se situará de forma que el incremento de volumen de agua antes del rebose sea igual o mayor que un tercio del volumen del depósito. Al mismo tiempo, permitirá que, con agua fría, el nivel sea tal que al incrementar la temperatura de agua en el sistema a la temperatura máxima de trabajo, no se produzca derrame de la misma.

En ningún caso la diferencia de alturas entre el nivel de agua fría en el depósito y el rebosadero será inferior a 3 cm.

El diámetro del rebosadero será igual o mayor al diámetro de la tubería de llenado. En todo caso, el dimensionado del diámetro del rebosadero asegurará que, con válvulas de flotador totalmente abiertas y una presión de red de 4 kg/cm<sup>2</sup>, no se produzca derramamiento de agua.

La capacidad de aforo de la válvula de flotación, cuando se utilice como sistema de llenado, no será inferior a 5 l/min. En todo caso, el diámetro de la tubería de llenado no será inferior a ½ pulgada o 15 mm.

El flotador del sistema de llenado resistirá, sin deterioro, la temperatura máxima de trabajo durante 48 horas.

*b) Vasos de expansión cerrados*

La tubería de conexión del vaso de expansión no se aislará térmicamente y tendrá volumen suficiente para enfriar el fluido antes de alcanzar el vaso.

Los datos que sirven de base para la selección del vaso son los siguientes:

- Volumen total de agua en la instalación, en litros.
- Temperatura mínima de funcionamiento, para la cual se asumirá el valor de 4 °C, a la que corresponde la máxima densidad.
- Temperatura máxima que pueda alcanzar el agua durante el funcionamiento de la instalación.
- Presiones mínima y máxima de servicio, en bar, cuando se trate de vasos cerrados.
- Volumen de expansión calculado, en litros.



Los cálculos darán como resultado final el volumen total del vaso y la presión nominal PN, que son los datos que definen sus características de funcionamiento. Los vasos de expansión cerrados cumplirán con el Reglamento de Recipientes a Presión y estarán debidamente timbrados.

La temperatura extrema del circuito primario será, como mínimo, la temperatura de estancamiento del captador.

El volumen de dilatación será, como mínimo, igual al 4,3 % del volumen total de fluido en el circuito primario.

Los vasos de expansión cerrados se dimensionarán de forma que la presión mínima en frío en el punto más alto del circuito no sea inferior a 1,5 kg/cm<sup>2</sup> y la presión máxima en caliente en cualquier punto del circuito no supere la presión máxima de trabajo de los componentes.

El dispositivo de expansión cerrado del circuito de captadores deberá estar dimensionado de tal forma que, incluso después de una interrupción del suministro de potencia a la bomba de circulación del circuito de captadores justo cuando la radiación solar sea máxima, se pueda restablecer la operación automáticamente cuando la potencia esté disponible de nuevo.

Cuando el medio de transferencia de calor pueda evaporarse bajo condiciones de estancamiento, hay que realizar un dimensionado especial del volumen de expansión:

Además de dimensionarlo como es usual en sistemas de calefacción cerrados (la expansión del medio de transferencia de calor completo), el depósito de expansión deberá ser capaz de compensar el volumen del medio de transferencia de calor en

todo el grupo de captadores completo, incluyendo todas las tuberías de conexión entre captadores, más un 10 %.

### VI.9 Aislamientos

El espesor mínimo del aislamiento de acumuladores será el que corresponda a las tuberías de más de 140 mm de diámetro.

El espesor del aislamiento del cambiador de calor no será inferior a 30 mm.

Los espesores de aislamiento (expresados en mm) de tuberías y accesorios situados al interior no serán inferiores a los valores de la tabla 11.

*Tabla 11*

Fluido interior caliente			
Diámetro exterior (mm) (*)	Temperatura del fluido (°C) (**)		
	40 a 60	61 a 100	101 a 180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

(\*) Diámetro exterior de la tubería sin aislar.

(\*\*) Se escoge la temperatura máxima de red.

Para tuberías y accesorios situados al exterior, los valores de la tabla 11 se incrementarán en 10 mm como mínimo.

Para materiales con conductividad térmica  $\lambda$ , en W/(mAK), distinta de 0,04, el espesor mínimo  $e$  (en mm) que debe usarse se determinará, en función del espesor de referencia  $e_{\text{ref}}$  (en mm) de la tabla 11, aplicando las siguientes fórmulas:

- Aislamiento de superficies planas:

$$e = e_{\text{ref}} \lambda / \lambda_{\text{ref}}$$

- Aislamiento de superficies cilíndricas:

$$e = \frac{D_i}{2} \left[ \exp \left( \frac{\lambda}{\lambda_{\text{ref}}} \ln \frac{D_i + 2e_{\text{ref}}}{D_i} \right) - 1 \right]$$

Donde  $e$  es el espesor del aislamiento buscado,  $e_{\text{ref}}$  es el espesor de referencia,  $D_i$  es el diámetro interior de la sección circular, “exp” es la función exponencial ( $e^x$ ), y  $\lambda$  y  $\lambda_{\text{ref}}$  son las conductividades térmicas respectivas.  $\lambda_{\text{ref}}$  tiene como valor 0,04.

El valor de la conductividad térmica a introducir en las fórmulas anteriores debe considerarse a la temperatura media de servicio de la masa del aislamiento.

El material aislante se sujetará con medios adecuados, de forma que no pueda desprenderse de las tuberías o accesorios.

Cuando el material aislante de tubería y accesorios sea de fibra de vidrio, deberá cubrirse con una protección no inferior a la proporcionada por un recubrimiento de venda y escayola. En los tramos que discurren por el exterior será terminada con pintura asfáltica u otra protección de características equivalentes.

El aislamiento no dejará zonas visibles de tuberías o accesorios, quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes.

Para la protección del material aislante situado en intemperie se podrá utilizar una cubierta o revestimiento de escayola protegido con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o chapa de aluminio. En el caso de depósitos o cambiadores de calor situados en intemperie, podrán utilizarse forros de telas plásticas.

Si se utiliza manta térmica para evitar pérdidas nocturnas en piscinas, se tendrá en cuenta la posibilidad de que proliferen microorganismos en ella, por lo que se deberá limpiar periódicamente.

#### **VI.10 Purga de aire**

En general, el trazado del circuito evitará los caminos tortuosos, para favorecer el desplazamiento del aire atrapado hacia los puntos altos.

Los trazados horizontales de tubería tendrán siempre una pendiente mínima del 1 % en el sentido de circulación.

Si el sistema está equipado con líneas de purga, deberán ser colocadas de tal forma que no se puedan helar y no se pueda acumular agua en las líneas. Los orificios de descarga deberán estar dispuestos de tal forma que vapor o medio de transferencia de calor que salga por las válvulas de seguridad no cause ningún riesgo a las personas, materiales o medio ambiente.

Se evitará el uso de purgadores automáticos cuando se prevea la formación de vapor en el circuito. Los purgadores automáticos deberán soportar, al menos, la temperatura de estancamiento del captador, y en cualquier caso hasta 130 °C.

En el trazado del circuito deberá evitarse, en lo posible, los sifones invertidos, pero cuando se utilicen, se situarán sistemas similares a los descritos en párrafos anteriores en el punto más desfavorable del sifón.

#### **VI.11 Sistema de llenado**

Los sistemas con vaso de expansión abierto podrán utilizarlo como sistema de llenado. Los circuitos con vaso de expansión cerrado deben incorporar un sistema de llenado manual o automático que permita llenar el circuito y mantenerlo presurizado. En general es recomendable la adopción

de un sistema de llenado automático con la inclusión de un depósito de recarga u otro dispositivo, de forma que nunca se utilice un fluido para el circuito primario cuyas características incumplan este Pliego de Condiciones Técnicas. Será obligatorio cuando exista riesgo de heladas o cuando la fuente habitual de suministro de agua incumpla las condiciones de pH y pureza requeridas en el apartado “*Requisitos generales*” del presente PCT.

En cualquier caso, nunca podrá rellenarse el circuito primario con agua de red si sus características pueden dar lugar a incrustaciones, deposiciones o ataques en el circuito, o si este circuito necesita anticongelante por riesgo de heladas o cualquier otro aditivo para su correcto funcionamiento.

Las instalaciones que requieran anticongelante deben incluir un sistema que permita el relleno manual del mismo.

Para disminuir los riesgos de fallos se evitarán los aportes incontrolados de agua de reposición a los circuitos cerrados y la entrada de aire que pueda aumentar los riesgos de corrosión originados por el oxígeno del aire. Es aconsejable no usar válvulas de llenado automáticas.

#### **VI.12 Sistema eléctrico y de control**

El sistema eléctrico y de control cumplirá con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) en todos aquellos puntos que sean de aplicación. Los cuadros serán diseñados siguiendo los requisitos de estas especificaciones y se construirán de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y con las recomendaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

El usuario estará protegido contra posibles contactos directos e indirectos. El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de la alimentación del sistema del funcionamiento de bombas.

El rango de temperatura ambiente de funcionamiento del sistema de control estará, como mínimo, entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $50^{\circ}\text{C}$ .

El tiempo mínimo entre fallos especificados por el fabricante del sistema de control diferencial, no será inferior a 7000 horas.

Los sensores de temperaturas soportarán las máximas temperaturas previstas en el lugar en que se ubiquen. Deberán soportar sin alteraciones de más de  $1^{\circ}\text{C}$ , las siguientes temperaturas en función de la aplicación:

- A.C.S. y calefacción por suelo radiante y “fan-coil”:  $100^{\circ}\text{C}$
- Refrigeración/calefacción:  $140^{\circ}\text{C}$
- Usos industriales: función de la temperatura de uso

La localización e instalación de los sensores de temperatura deberá asegurar un buen contacto térmico con la parte en la cual hay que medir la misma. Para conseguirlo en el caso de las de inmersión, se instalarán en contracorriente con el fluido. Los sensores de temperatura deberán estar aislados contra la influencia de las condiciones ambientales que le rodean.

La ubicación de las sondas ha de realizarse de forma que éstas midan exactamente las temperaturas que se desean controlar, instalándose los sensores en el interior de vainas y evitándose las tuberías separadas de la salida de los captadores y las zonas de estancamiento en los depósitos. No se permite el uso permanente de termómetros o sondas de contacto. Preferentemente las sondas serán de inmersión. Se tendrá especial cuidado en asegurar una adecuada unión entre las sondas de contactos y la superficie metálica.

### **VI.13 Sistema de monitorización**

El sistema de monitorización realizará la adquisición de datos, al menos, con la siguiente frecuencia:

- Toma de medidas o estados de funcionamiento: cada minuto
- Cálculo de medias de valores y registro: cada 10 minutos
- Tiempo de almacenamiento de datos registrados: mínimo 1 año

Las variables analógicas que deben ser medidas por el sistema de monitorización serán seis como mínimo, y entre las cuales deberán estar las cuatro siguientes:

- Temperatura de entrada de agua fría
- Temperatura de suministro de agua caliente solar
- Temperatura de suministro de agua caliente a consumo
- Caudal de agua de consumo

El sistema de monitorización registrará, con la misma frecuencia, el estado de funcionamiento de las bombas de circulación de primario y secundario, la actuación de las limitaciones por máxima o mínima y el funcionamiento del sistema de energía auxiliar.

Opcionalmente, el sistema de monitorización medirá, además, las siguientes variables:

- Temperatura de entrada a captadores
- Temperatura de salida de captadores
- Temperatura de entrada secundario
- Temperatura de salida secundario
- Radiación global sobre plano de captadores
- Temperatura ambiente exterior
- Presión de agua en circuito primario
- Temperatura fría del acumulador
- Temperatura caliente del acumulador

- Temperaturas de salidas de varios grupos de captadores
- Variables que permitan el conocimiento del consumo energético del sistema auxiliar

El tratamiento de los datos medidos proporcionará, al menos, los siguientes resultados:

- Temperatura media de suministro de agua caliente a consumo
- Temperatura media de suministro de agua caliente solar
- Demanda de energía térmica diaria
- Energía solar térmica aportada
- Energía auxiliar consumida
- Fracción solar media
- Consumos propios de la instalación (bombas, controles, etc.)

Con los datos registrados se procederá al análisis de resultados y evaluación de las prestaciones diarias de la instalación. Estos datos quedarán archivados en un registro histórico de prestaciones.

#### **VI.14 Equipos de medida**

##### ***Medida de temperatura***

Las medidas de temperatura se realizarán mediante sensores de temperatura. La medida de la diferencia de temperatura entre dos puntos del fluido de trabajo se realizará mediante los citados sensores de temperatura, debidamente conectados, para obtener de forma directa la lectura diferencial.

En lo referente a la colocación de las sondas, han de ser preferentemente de inmersión y situadas a una distancia máxima de 5 cm del fluido cuya temperatura se pretende medir. Las vainas destinadas a alojar las sondas de temperatura, deben introducirse en las tuberías siempre en contracorriente y en un lugar donde se creen turbulencias.



Como mínimo, han de instalarse termómetros en las conducciones de impulsión y retorno, así como a la entrada y a la salida de los intercambiadores de calor.

### ***Medida de caudal***

La medida de caudales de líquidos se realizará mediante turbinas, medidores de flujo magnético, medidores de flujo de desplazamiento positivo o procedimientos gravimétricos o de cualquier otro tipo, de forma que la precisión sea igual o superior a  $\pm 3 \%$  en todos los casos.

Cuando exista un sistema de regulación exterior, éste estará precintado y protegido contra intervenciones fraudulentas.

Se suministrarán los siguientes datos dentro de la Memoria de Diseño o Proyecto, que deberán ser facilitados por el fabricante:

- Calibre del contador
- Temperatura máxima del fluido
- Caudales:
  - en servicio continuo
  - máximo (durante algunos minutos)
  - mínimo (con precisión mínima del 5 %)
  - de arranque
- Indicación mínima de la esfera
- Capacidad máxima de totalización
- Presión máxima de trabajo
- Dimensiones
- Diámetro y tipo de las conexiones
- Pérdida de carga en función del caudal

Cuando exista, el medidor se ubicará en la entrada de agua fría del acumulador solar.

### *Medida de energía*

Los contadores de energía térmica estarán constituidos por los siguientes elementos:

- Contador de caudal de agua, descrito anteriormente.
- Dos sondas de temperatura.
- Microprocesador electrónico, montado en la parte superior del contador o separado.

En función de la ubicación de las dos sondas de temperatura, se medirá la energía aportada por la instalación solar o por el sistema auxiliar. En el primer caso, una sonda de temperatura se situará en la entrada del agua fría del acumulador solar y otra en la salida del agua caliente del mismo.

Para medir el aporte de energía auxiliar, las sondas de temperatura se situarán en la entrada y salida del sistema auxiliar.

El microprocesador podrá estar alimentado por la red eléctrica o mediante pilas, con una duración de servicio mínima de 3 años.

El microprocesador multiplicará la diferencia de ambas temperaturas por el caudal instantáneo de agua y su peso específico. La integración en el tiempo de estas cantidades proporcionará la cantidad de energía aportada.

### *Medida de presión*

Las medidas de presión en circuitos de líquidos se harán con manómetros equipados con dispositivos de amortiguación de las oscilaciones de la aguja indicadora.

El equipamiento mínimo de aparatos de medición será el siguiente:

- Vasos de expansión: un manómetro.
- Bombas: un manómetro para la lectura de la diferencia de presión entre aspiración y descarga de cada bomba.
- Intercambiadores de calor: manómetros a la entrada y a la salida.

# **ANEXO VII**

## **CONDICIONES DE MONTAJE**



## **Condiciones de montaje**

### **VII.1 Generalidades**

La instalación se construirá en su totalidad utilizando materiales y procedimientos de ejecución que garanticen las exigencias del servicio, durabilidad, salubridad y mantenimiento.

Se tendrán en cuenta las especificaciones dadas por los fabricantes de cada uno de los componentes.

A efectos de las especificaciones de montaje de la instalación, éstas se complementarán con la aplicación de las reglamentaciones vigentes que tengan competencia en el caso.

Es responsabilidad del suministrador comprobar que el edificio reúne las condiciones necesarias para soportar la instalación, indicándolo expresamente en la documentación. Así como el comprobar la calidad de los materiales y agua utilizados, cuidando que se ajusten a lo especificado en estas normas, y el evitar el uso de materiales incompatibles entre sí.

El suministrador será responsable de la vigilancia de sus materiales durante el almacenaje y el montaje, hasta la recepción provisional.

Las aperturas de conexión de todos los aparatos y máquinas deberán estar convenientemente protegidas durante el transporte, el almacenamiento y el montaje, hasta tanto no se proceda a su unión, por medio de elementos de taponamiento de forma y resistencia adecuada para evitar la entrada de cuerpos extraños y suciedades dentro del aparato.

Especial cuidado se tendrá con materiales frágiles y delicados, como luminarias, mecanismos, equipos de medida, etc., que deberán quedar debidamente protegidos.

Durante el montaje, el suministrador deberá evacuar de la obra todos los materiales sobrantes de trabajos efectuados con anterioridad, en particular de retales de conducciones y cables.

Asimismo, al final de la obra, deberá limpiar perfectamente todos los equipos (captadores, acumuladores, etc.), cuadros eléctricos, instrumentos de medida, etc. de cualquier tipo de suciedad, dejándolos en perfecto estado.

Antes de su colocación, todas las canalizaciones deberán reconocerse y limpiarse de cualquier cuerpo extraño, como rebabas, óxidos, suciedades, etc.

La alineación de las canalizaciones en uniones y cambios de dirección se realizará con los correspondientes accesorios y/o cajas, centrando los ejes de las canalizaciones con los de las piezas especiales, sin tener que recurrir a forzar la canalización. En las partes dañadas por roces en los equipos, producidos durante el traslado o el montaje, el suministrador aplicará pintura rica en zinc u otro material equivalente.

La instalación de los equipos, válvulas y purgadores permitirá su posterior acceso a las mismas a efectos de su mantenimiento, reparación o desmontaje. Una vez instalados, se procurará que las placas de características de los equipos sean visibles.

Todos los elementos metálicos que no estén debidamente protegidos contra la oxidación por el fabricante, serán recubiertos con dos manos de pintura antioxidante. Los circuitos de distribución de agua caliente sanitaria se protegerán contra la corrosión por medio de ánodos de sacrificio.

Todos los equipos y circuitos podrán vaciarse total o parcialmente, realizándose esto desde los puntos más bajos de la instalación.

Las conexiones entre los puntos de vaciado y desagües se realizarán de forma que el paso del agua quede perfectamente visible.

Los botellines de purga estarán siempre en lugares accesibles y, siempre que sea posible, visibles.

### **VII.2 Montaje de estructura soporte y captadores**

Si los captadores son instalados en los tejados de edificios, deberá asegurarse la estanquidad en los puntos de anclaje.

La instalación permitirá el acceso a los captadores de forma que su desmontaje sea posible en caso de rotura, pudiendo desmontar cada captador con el mínimo de actuaciones sobre los demás.

Las tuberías flexibles se conectarán a los captadores utilizando, preferentemente, accesorios para mangueras flexibles.

Cuando se monten tuberías flexibles se evitará que queden retorcidas y que se produzcan radios de curvatura superiores a los especificados por el fabricante.

El suministrador evitará que los captadores queden expuestos al sol por períodos prolongados durante el montaje. En este período las conexiones del captador deben estar abiertas a la atmósfera, pero impidiendo la entrada de suciedad.

Terminado el montaje, durante el tiempo previo al arranque de la instalación, si se prevé que éste pueda prolongarse, el suministrador procederá a tapar los captadores.

### **VII.3 Montaje de acumulador**

La estructura soporte para depósitos y su fijación se realizará según la normativa vigente.

La estructura soporte y su fijación para depósitos de más de 1000 l situados en cubiertas o pisos deberá ser diseñada por un profesional competente. La ubicación de los acumuladores y sus estructuras de sujeción



cuando se sitúen en cubiertas de piso tendrá en cuenta las características de la edificación, y requerirá para depósitos de más de 300 l el diseño de un profesional competente.

#### **VII.4 Montaje de intercambiador**

Se tendrá en cuenta la accesibilidad del intercambiador, para operaciones de sustitución o reparación.

#### **VII.5 Montaje de bomba**

Las bombas en línea se instalarán con el eje de rotación horizontal y con espacio suficiente para que el conjunto motor-rodete pueda ser fácilmente desmontado. El acoplamiento de una bomba en línea con la tubería podrá ser de tipo roscado hasta el diámetro DN 32.

El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba. Las tuberías conectadas a las bombas en línea se soportarán en las inmediaciones de las bombas de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos. La conexión de las tuberías a las bombas no podrá provocar esfuerzos recíprocos (se utilizarán manguitos anti vibratorios cuando la potencia de accionamiento sea superior a 700 W).

Todas las bombas estarán dotadas de tomas para la medición de presiones en aspiración e impulsión.

Todas las bombas deberán protegerse, aguas arriba, por medio de la instalación de un filtro de malla o tela metálica.

Cuando se monten bombas con prensa-estopas, se instalarán sistemas de llenado automáticos.

#### **VII.6 Montaje de tuberías y accesorios**

Antes del montaje deberá comprobarse que las tuberías no estén rotas, fisuradas, dobladas, aplastadas, oxidadas o de cualquier manera dañadas.

Se almacenarán en lugares donde estén protegidas contra los agentes atmosféricos. En su manipulación se evitarán roces, rodaduras y arrastres, que podrían dañar la resistencia mecánica, las superficies calibradas de las extremidades o las protecciones anti-corrosión.

Las piezas especiales, manguitos, gomas de estanquidad, etc. se guardarán en locales cerrados.

Las tuberías serán instaladas de forma ordenada, utilizando fundamentalmente tres ejes perpendiculares entre sí y paralelos a elementos estructurales del edificio, salvo las pendientes que deban darse.

Las tuberías se instalarán lo más próximas posible a paramentos, dejando el espacio suficiente para manipular el aislamiento y los accesorios. En cualquier caso, la distancia mínima de las tuberías o sus accesorios a elementos estructurales será de 5 cm.

Las tuberías discurrirán siempre por debajo de canalizaciones eléctricas que crucen o corran paralelamente.

La distancia en línea recta entre la superficie exterior de la tubería, con su eventual aislamiento, y la del cable o tubo protector no debe ser inferior a las siguientes:

- 5 cm para cables bajo tubo con tensión inferior a 1000 V.
- 30 cm para cables sin protección con tensión inferior a 1000 V.
- 50 cm para cables con tensión superior a 1000 V.

Las tuberías no se instalarán nunca encima de equipos eléctricos como cuadros o motores.

No se permitirá la instalación de tuberías en huecos y salas de máquinas de ascensores, centros de transformación, chimeneas y conductos de climatización o ventilación.

Las conexiones de las tuberías a los componentes se realizarán de forma que no se transmitan esfuerzos mecánicos.

Las conexiones de componentes al circuito deben ser fácilmente desmontables por bridas o racores, con el fin de facilitar su sustitución o reparación.

Los cambios de sección en tuberías horizontales se realizarán de forma que se evite la formación de bolsas de aire, mediante manguitos de reducción excéntricos o enrasado de generatrices superiores para uniones soldadas. Para evitar la formación de bolsas de aire, los tramos horizontales de tubería se montarán siempre con una pendiente ascendente, en el sentido de circulación, del 1 %.

Se facilitarán las dilataciones de tuberías utilizando los cambios de dirección o dilatadores axiales.

Las uniones de tuberías de acero podrán ser por soldadura o roscadas. Las uniones con valvulería y equipos podrán ser roscadas hasta 2", para diámetros superiores se realizarán las uniones por bridas. En ningún caso se permitirán ningún tipo de soldadura en tuberías galvanizadas. Las uniones de tuberías de cobre se realizarán mediante manguitos soldados por capilaridad.

En circuitos abiertos el sentido de flujo del agua deberá ser siempre del acero al cobre.

El dimensionado, distancia y disposición de los soportes de tubería se realizará de acuerdo con las prescripciones de UNE 100.152.

Durante el montaje de las tuberías se evitarán en los cortes para la unión de tuberías, las rebabas y escorias.

En las ramificaciones soldadas, el final del tubo ramificado no debe proyectarse en el interior del tubo principal.

Los sistemas de seguridad y expansión se conectarán de forma que se evite cualquier acumulación de suciedad o impurezas.

Las dilataciones que sufren las tuberías al variar la temperatura del fluido, deben compensarse a fin de evitar roturas en los puntos más débiles, que suelen ser las uniones entre tuberías y aparatos, donde suelen concentrarse los esfuerzos de dilatación y contracción.

En las salas de máquinas se aprovecharán los frecuentes cambios de dirección, para que la red de tuberías tenga la suficiente flexibilidad y pueda soportar las variaciones de longitud.

En los trazados de tuberías de gran longitud, horizontales o verticales, se compensarán los movimientos de tuberías mediante dilatadores axiales.

### **VII.7 Montaje de aislamiento**

El aislamiento no podrá quedar interrumpido al atravesar elementos estructurales del edificio.

El manguito pasa muros deberá tener las dimensiones suficientes para que pase la conducción con su aislamiento, con una holgura máxima de 3 cm.

Tampoco se permitirá la interrupción del aislamiento térmico en los soportes de las conducciones, que podrán estar o no completamente envueltos por el material aislante.

El puente térmico constituido por el mismo soporte deberá quedar interrumpido por la interposición de un material elástico (goma, fieltro, etc.) entre el mismo y la conducción. Después de la instalación del aislamiento

térmico, los instrumentos de medida y de control, así como válvulas de desagües, volante, etc., deberán quedar visibles y accesibles.

Las franjas y flechas que distinguen el tipo de fluido transportado en el interior de las conducciones, se pintarán o se pegarán sobre la superficie exterior del aislamiento o de su protección.

#### **VII.8 Montaje de contadores**

Se instalarán siempre entre dos válvulas de corte para facilitar su desmontaje. El suministrador deberá prever algún sistema ("bypass" o carrete de tubería) que permita el funcionamiento de la instalación aunque el contador sea desmontado para calibración o mantenimiento.

En cualquier caso, no habrá ningún obstáculo hidráulico a una distancia igual, al menos, diez veces el diámetro de la tubería antes y cinco veces después del contador.

Cuando el agua pueda arrastrar partículas sólidas en suspensión, se instalará un filtro de malla fina antes del contador, del tamiz adecuado.

#### **VII.9 Montaje de instalaciones por circulación natural**

Los cambios de dirección en el circuito primario se realizarán con curvas con un radio mínimo de tres veces el diámetro del tubo.

Se cuidará de mantener rigurosamente la sección interior de paso de las tuberías, evitando aplastamientos durante el montaje.

Se permitirá reducir el aislamiento de la tubería de retorno, para facilitar el efecto termosifón.

#### **VII.10 Pruebas de estanqueidad del circuito primario**

El procedimiento para efectuar las pruebas de estanqueidad comprenderá las siguientes fases:

### 1. Preparación y limpieza de redes de tuberías.

Antes de efectuar la prueba de estanqueidad las tuberías deben ser limpiadas internamente, con el fin de eliminar los residuos procedentes del montaje, llenándolas y vaciándolas con agua el número de veces que sea necesario.

Deberá comprobarse que los elementos y accesorios del circuito pueden soportar la presión a la que se les va a someter. De no ser así, tales elementos y accesorios deberán ser excluidos.

### 2. Prueba preliminar de estanqueidad.

Esta prueba se efectuará a baja presión, para detectar fallos en la red y evitar los daños que podría provocar la prueba de resistencia mecánica.

### 3. Prueba de resistencia mecánica

La presión de prueba será de una vez y media la presión máxima de trabajo del circuito primario, con un mínimo de 3 bar, comprobándose el funcionamiento de las válvulas de seguridad. Los equipos, aparatos y accesorios que no soporten dichas presiones quedarán excluidos de la prueba.

La prueba hidráulica de resistencia mecánica tendrá la duración suficiente para poder verificar de forma visual la resistencia estructural de los equipos y tuberías sometidos a la misma.

### 4. Reparación de fugas

La reparación de las fugas detectadas se realizará sustituyendo la parte defectuosa o averiada con material nuevo.

Una vez reparadas las anomalías, se volverá a comenzar desde la prueba preliminar. El proceso se repetirá tantas veces como sea necesario.

## **ANEXO VIII**

### **REQUISITOS TÉCNICOS DEL CONTRATO DE MANTENIMIENTO**





## Requisitos técnicos del contrato de mantenimiento

### VIII.1 Generalidades

Se realizará un contrato de mantenimiento (preventivo y correctivo) por un período de tiempo al menos igual que el de la garantía.

El mantenimiento preventivo implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con superficie útil homologada inferior o igual a 20 m<sup>2</sup>, y una revisión cada seis meses para instalaciones con superficies superiores a 20 m<sup>2</sup>.

Las medidas a tomar en el caso de que en algún mes del año el aporte solar sobrepase el 110 % de la demanda energética o en más de tres meses seguidos el 100 % son las siguientes:

- Vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, habrá de ser repuesto por un fluido de características similares, debiendo incluirse este trabajo en su caso entre las labores del contrato de mantenimiento.
- Tapado parcial del campo de captadores. En este caso el captador está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que sigue atravesando el captador).
- Desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes o redimensionar la instalación con una disminución del número de captadores.

En el caso de optarse por las soluciones expuestas en los puntos anteriores, deberán programarse y detallarse dentro del contrato de mantenimiento las visitas a realizar para el vaciado parcial / tapado parcial del campo de captadores y reposición de las condiciones iniciales. Estas visitas se programarán de forma que se realicen una antes y otra después de

cada período de sobreproducción energética. También se incluirá dentro del contrato de mantenimiento un programa de seguimiento de la instalación que prevendrá los posibles daños ocasionados por los posibles sobrecalentamientos producidos en los citados períodos y en cualquier otro período del año.

### **VIII.2 Programa de mantenimiento**

#### ***Objeto.***

El objeto de este apartado es definir las condiciones generales mínimas que deben seguirse para el adecuado mantenimiento de las instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente.

#### ***Criterios generales.***

Se definen tres escalones de actuación para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida útil de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma:

- a) Vigilancia
- b) Mantenimiento preventivo
- c) Mantenimiento correctivo

- **Plan de vigilancia**

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Será llevado a cabo, normalmente, por el usuario, que asesorado por el instalador, observará el correcto comportamiento y estado de los elementos, y tendrá un alcance similar al descrito en la tabla 12.

Tabla 12.

<i>Elemento de la instalación</i>	<i>Operación</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Captadores	Limpieza de cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados.
	Cristales	3	IV - Condensaciones en las horas centrales del día.
	Juntas	3	IV - Agrietamientos y deformaciones.
	Absorbedor	3	IV - Corrosión, deformación, fugas, etc.
	Conexiones	3	IV - Fugas.
	Estructura	3	IV - Degradación, indicios de corrosión.
Circuito primario	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV - Ausencia de humedad y fugas.
	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín.
Circuito secundario	Termómetro	Diaria	IV - Temperatura.
	Tubería y aislamiento	6	IV - Ausencia de humedad y fugas.
	Acumulador solar	3	Purgado de la acumulación de lodos de la parte superior del depósito.

IV: Inspección visual.

- **Plan de mantenimiento preventivo**

Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras, que aplicadas a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la misma.

El mantenimiento preventivo implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para aquellas instalaciones con una superficie de captación inferior a 20 m<sup>2</sup> y una revisión cada seis meses para instalaciones con superficie de captación superior a 20 m<sup>2</sup>.

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico especializado que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas, así como el mantenimiento correctivo.

El mantenimiento preventivo ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles o desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

En las tablas 13-A, 13-B, 13-C, 13-D, 13-E y 13-F se definen las operaciones de mantenimiento preventivo que deben realizarse en las instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente, la periodicidad mínima establecida (en meses) y descripciones en relación con las prevenciones a observar.

*Tabla 13-A. Sistema de captación.*

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Captadores	6	IV- Diferencias sobre original.
		IV- Diferencias entre captadores.
Cristales	6	IV- Condensaciones y suciedad.
Juntas	6	IV- Agrietamientos, deformaciones.
Absorbedor	6	IV- Corrosión, deformaciones.
Carcasa	6	IV- Deformación, oscilaciones, ventanas de respiración.
Conexiones	6	IV- Aparición de fugas.
Estructura	6	IV- Degradación, indicios de corrosión y apriete de tornillos.
Captadores (*)	12	Tapado parcial del campo de captadores
Captadores (*)	12	Destapado parcial del campo de captadores
Captadores (*)	12	Vaciado parcial del campo de captadores
Captadores (*)	12	Llenado parcial del campo de captadores

IV: Inspección visual

(\*) Estas operaciones se realizarán, según proceda, en el caso de que se haya optado por el tapado o vaciado parcial de los captadores para prevenir el sobrecalentamiento.

Tabla 13-B. Sistema de acumulación.

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Depósito	12	Presencia de lodos en fondo.
Ánodos de sacrificio	12	Comprobación del desgaste.
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento.
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad.

Tabla 13-C. Sistema de intercambio.

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Intercambiador de placas	12	CF - Eficiencia y prestaciones.
	12	Limpieza.
Intercambiador de serpentín	12	CF - Eficiencia y prestaciones.
	12	Limpieza.

CF: Control de funcionamiento.

Tabla 13-D. Circuito hidráulico.

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH.
Estanqueidad	24	Efectuar prueba de presión.
Aislamiento al exterior	6	IV - Degradación protección uniones y ausencia de humedad.
Aislamiento al interior	12	IV - Uniones y ausencia de humedad.
Purgador automático	12	CF y limpieza.
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín.
Bomba	12	Estanqueidad.
Vaso de expansión cerrado	6	Comprobación de la presión.
Vaso de expansión abierto	6	Comprobación del nivel.
Sistema de llenado	6	CF - Actuación.
Válvula de corte	12	CF - Actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento.
Válvula de seguridad	12	CF - Actuación.

CF: Control de funcionamiento.

IV: Inspección visual.



Tabla 13-E. Sistema eléctrico y de control.

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está bien cerrado para que no entre polvo.
Control diferencial	12	CF - Actuación.
Termostato	12	CF - Actuación.
Verificación del sistema de medida	12	CF - Actuación.

CF: Control de funcionamiento.

Tabla 13-F. Sistema de energía auxiliar.

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Sistema auxiliar	12	CF- Actuación.
Sondas de temperatura	12	CF- Actuación.

CF: Control de funcionamiento.

Nota: Para las instalaciones menores de 20 m<sup>2</sup> se realizarán conjuntamente en la inspección anual las labores del plan de mantenimiento que tienen una frecuencia de 6 y 12 meses.

No se incluyen los trabajos propios del mantenimiento del sistema auxiliar.

Dado que el sistema de energía auxiliar no forma parte del sistema de energía solar propiamente dicho, sólo será necesario realizar actuaciones sobre las conexiones del primero a este último, así como la verificación del funcionamiento combinado de ambos sistemas.

Se deja un mantenimiento más exhaustivo para la empresa instaladora del sistema auxiliar.

- **Mantenimiento correctivo**

Son operaciones realizadas como consecuencia de la detección de cualquier anomalía en el funcionamiento de la instalación, en el plan de vigilancia o en el de mantenimiento preventivo.

Incluye la visita a la instalación, en los mismos plazos máximos indicados en el apartado de *Garantías*, cada vez que el usuario así lo requiera por avería grave de la instalación, así como el análisis y presupuestación de los trabajos y reposiciones necesarias para el correcto funcionamiento de la misma.

Los costes económicos del mantenimiento correctivo, con el alcance indicado, forman parte del precio anual del contrato de mantenimiento. Podrán no estar incluidas ni la mano de obra, ni las reposiciones de equipos necesarias.

### **VIII.3 Garantías**

El suministrador garantizará la instalación durante un período mínimo de 3 años, para todos los materiales utilizados y el procedimiento empleado en su montaje. Sin perjuicio de cualquier posible reclamación a terceros, la instalación será reparada de acuerdo con estas condiciones generales si ha sufrido una avería a causa de un defecto de montaje o de cualquiera de los componentes, siempre que haya sido manipulada correctamente de acuerdo con lo establecido en el manual de instrucciones.

La garantía se concede a favor del comprador de la instalación, lo que deberá justificarse debidamente mediante el correspondiente certificado de *garantía*, con la fecha que se acredite en la certificación de la instalación.

Si hubiera de interrumpirse la explotación del suministro debido a razones de las que es responsable el suministrador, o a reparaciones que el suministrador haya de realizar para cumplir las estipulaciones de la garantía, el plazo se prolongará por la duración total de dichas interrupciones.

La garantía comprende la reparación o reposición, en su caso, de los componentes y las piezas que pudieran resultar defectuosas, así como la mano de obra empleada en la reparación o reposición durante el plazo de vigencia de la garantía.



Quedan expresamente incluidos todos los demás gastos, tales como tiempos de desplazamiento, medios de transporte, amortización de vehículos y herramientas, disponibilidad de otros medios y eventuales portes de recogida y devolución de los equipos para su reparación en los talleres del fabricante.

Asimismo se deben incluir la mano de obra y materiales necesarios para efectuar los ajustes y eventuales reglajes del funcionamiento de la instalación.

Si en un plazo razonable, el suministrador incumple las obligaciones derivadas de la garantía, el comprador de la instalación podrá, previa notificación escrita, fijar una fecha final para que dicho suministrador cumpla con las mismas. Si el suministrador no cumple con sus obligaciones en dicho plazo último, el comprador de la instalación podrá, por cuenta y riesgo del suministrador, realizar por sí mismo o contratar a un tercero para realizar las oportunas reparaciones, sin perjuicio de la ejecución del aval prestado y de la reclamación por daños y perjuicios en que hubiere incurrido el suministrador.

La garantía podrá anularse cuando la instalación haya sido reparada, modificada o desmontada, aunque sólo sea en parte, por personas ajenas al suministrador o a los servicios de asistencia técnica de los fabricantes no autorizados expresamente por el suministrador.

Cuando el usuario detecte un defecto de funcionamiento en la instalación, lo comunicará fehacientemente al suministrador. Cuando el suministrador considere que es un defecto de fabricación de algún componente lo comunicará fehacientemente al fabricante.

El suministrador atenderá el aviso en un plazo de:

- 24 horas, si se interrumpe el suministro de agua caliente, procurando establecer un servicio mínimo hasta el correcto funcionamiento de ambos sistemas (solar y de apoyo).
- 48 horas, si la instalación solar no funciona.
- una semana, si el fallo no afecta al funcionamiento.

Las averías de las instalaciones se repararán en su lugar de ubicación por el suministrador. Si la avería de algún componente no pudiera ser reparada en el domicilio del usuario, el componente deberá ser enviado al taller oficial designado por el fabricante por cuenta y a cargo del suministrador.

El suministrador realizará las reparaciones o reposiciones de piezas a la mayor brevedad posible una vez recibido el aviso de avería, pero no se responsabilizará de los perjuicios causados por la demora en dichas reparaciones siempre que sea inferior a 15 días naturales.

# **ANEXO IX**

## **PRUEBAS Y DOCUMENTACIÓN**



## **Pruebas y documentación**

### **IX.1 Pruebas**

El suministrador entregará al usuario un documento-albarán en el que conste el suministro de componentes, materiales y manuales de uso y mantenimiento de la instalación. Este documento será firmado por duplicado por ambas partes, conservando cada una un ejemplar.

Las pruebas a realizar por el instalador serán, como mínimo, las siguientes:

- Llenado, funcionamiento y puesta en marcha del sistema.
- Se probarán hidrostáticamente los equipos y el circuito de energía auxiliar.
- Se comprobará que las válvulas de seguridad funcionan y que las tuberías de descarga de las mismas no están obturadas y están en conexión con la atmósfera. La prueba se realizará incrementando hasta un valor de 1,1 veces el de tarado y comprobando que se produce la apertura de la válvula.
- Se comprobará la correcta actuación de las válvulas de corte, llenado, vaciado y purga de la instalación.
- Se comprobará que alimentando (eléctricamente) las bombas del circuito, éstas entran en funcionamiento y el incremento de presión indicado por los manómetros se corresponde en la curva con el caudal del diseño del circuito.
- Se comprobará la actuación del sistema de control y el comportamiento global de la instalación realizando una prueba de funcionamiento diario, consistente en verificar, que, en un día claro, las bombas arrancan por la mañana, en un tiempo prudencial, y paran al atardecer, detectándose en el depósito saltos de temperatura significativos.

Concluidas las pruebas y la puesta en marcha se pasará a la fase de la Recepción Provisional de la instalación, no obstante el Acta de Recepción Provisional no se firmará hasta haber comprobado que todos los sistemas y

elementos han funcionado correctamente durante un mínimo de un mes, sin interrupciones o paradas.

## **IX.2 Documentación**

### **IX.2.A Documentación para sistemas solares prefabricados**

#### **IX.2.A.1 Generalidades**

Con cada sistema solar prefabricado, el fabricante o distribuidor oficial deberá suministrar instrucciones para el montaje e instalación (para el instalador) e instrucciones de operación (para el usuario). Estos documentos deberán estar escritos en el idioma(s) oficial(es) del lugar en que se encuentre ubicada la instalación y deberán incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje y operación, incluyendo mantenimiento, y prestando atención a los requisitos importantes y reglas técnicas de interés.

#### **IX.2.A.2 Documentos para el instalador**

Las instrucciones de montaje deberán ser apropiadas al sistema e incluir información concerniente a:

a) Datos técnicos que se refieran a:

- 1) Diagramas del sistema.
- 2) Localización y diámetros nominales de todas las conexiones externas.
- 3) Un resumen con todos los componentes que se suministran (como captador solar, depósito de acumulación, estructura soporte, circuito hidráulico, provisiones de energía auxiliar, sistema de control/regulación y accesorios), con información de cada componente del modelo, potencia eléctrica, dimensiones, peso, marca y montaje.
- 4) Máxima presión de operación de todos los circuitos de fluido del sistema, tales como el circuito de captadores, el circuito de consumo y el circuito de calentamiento auxiliar.
- 5) Límites de trabajo: temperaturas y presiones admisibles, etc. a través del sistema.
- 6) Tipo de protección contra la corrosión.

7) Tipo de fluido de transferencia de calor.

b) Embalaje y transporte de todo el sistema y/o componentes y modo de almacenaje (exterior, interior, embalado, no embalado).

c) Guías de instalación con recomendaciones sobre:

1) Superficies de montaje.

2) Distancias a paredes y seguridad en relación con el hielo.

3) Forma en la que las tuberías de entrada al edificio han de estar terminadas (resistencia a lluvia y humedad).

4) Procedimiento a seguir para el aislamiento térmico de las tuberías.

5) Integración en el tejado del captador (si es apropiado).

d) Si una estructura soporte que, normalmente montada al exterior, es parte del sistema, los valores máximos de  $s_k$  (carga de nieve) y  $v_m$  (velocidad principal de viento) de acuerdo con ENV 1991-2-3 y ENV 1991-2-4 y una declaración de que el sistema sólo puede ser instalado en sitios con valores menores de  $s_k$  y  $v_m$ .

e) Método de conexión de tuberías.

f) Tipos y tamaños de los dispositivos de seguridad y su drenaje. Las instrucciones de montaje deberán indicar que cualquier válvula de tarado de presión que se instale por la cual pueda salir vapor en condiciones de operación normal o estancamiento, habrá de ser montada de tal forma que no se produzcan lesiones, agravios o daños causados por el escape de vapor. Cuando el sistema esté equipado para drenar una cantidad de agua como protección contra sobrecalentamiento, el drenaje de agua caliente debe estar construido de tal forma que el agua drenada no cause ningún daño al sistema ni a otros materiales del edificio.

g) Los dispositivos necesarios de control y seguridad con esquema unifilar, incluyendo la necesidad de una válvula termostática de mezcla que limite la temperatura de extracción a 60 °C, cuando así se requiera de acuerdo con 1.3.3.2.

- h) Revisión, llenado y arranque del sistema.
- i) Montaje del sistema.
- j) Una lista de comprobación para el instalador para verificar el correcto funcionamiento del sistema.
- k) La mínima temperatura hasta la cual el sistema puede soportar heladas.

### **IX.2.A.3 Documentos para el usuario**

Las instrucciones de operación deberán incluir información concerniente a:

- a) Componentes de seguridad existentes y ajustes de termostato cuando sea aplicable.
- b) Implementación del sistema poniendo especial atención en el hecho de que:
  - 1) Antes de poner el sistema en operación se debe comprobar que todas las válvulas trabajan correctamente y que el sistema está llenado completamente con agua y/o fluido anticongelante de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
  - 2) En caso de cualquier avería, deberá llamarse a un especialista.
- c) Operación normal de las válvulas de seguridad.
- d) Precauciones en relación con riesgo de daños por congelación o sobrecalentamientos.
- e) La manera de evitar averías cuando se arranque el sistema bajo condiciones de congelación o posible congelación.
- f) Desmontaje del sistema.
- g) Mantenimiento del sistema por un especialista, incluyendo frecuencia de inspecciones y mantenimiento y una lista de partes que tienen que ser repuestas durante el mantenimiento normal.
- h) Datos de rendimiento del sistema.
  - 1) Rango de cargas recomendado para el sistema (en l/día) a la temperatura especificada.



- 2) Consumo de electricidad anual de bombas, sistemas de control y válvulas eléctricas del sistema para las mismas condiciones que las especificadas para el rendimiento térmico, asumiendo un tiempo de operación de la bomba de captadores de 2000 h.
- 3) Si el sistema contiene dispositivos de protección contra heladas que causen consumo eléctrico, se hará constar la potencia eléctrica de estos dispositivos (en W) y sus características (temperatura de arranque).
- i) Cuando el sistema de protección contra heladas dependa de la electricidad y/o suministro de agua fría y/o el sistema haya sido llenado con agua de consumo, el requisito de no cortar nunca el suministro eléctrico y/o el suministro de agua fría, o que el sistema no sea drenado cuando haya alta radiación solar.
- j) El hecho de que durante situaciones de alta radiación, agua de consumo puede ser drenada, si éste es el método usado para prevenir sobrecalentamientos.
- k) Mínima temperatura hasta la cual el sistema puede soportar heladas.
- l) Tipo de fluido de transferencia de calor.
- m) En caso de sistemas con calentadores de emergencia, habrá de indicarse que dicho calentador deberá ser usado para propósitos de emergencia.

### **IX.2.B Documentación para sistemas solares a medida**

La documentación del sistema descrita a continuación deberá ser completa y entendible. Para sistemas pequeños debería estar disponible la documentación técnica describiendo la clasificación propuesta por la Compañía, estando establecido el archivo de acuerdo con III.2.B.1. Deberá suministrarse una documentación de cada sistema de acuerdo con III.2.B.2. Para sistemas grandes, deberá suministrarse una documentación completa del sistema de acuerdo con III.2.B.3.

#### **IX.2.B.1 Fichero de clasificación para sistemas pequeños**

La documentación que describa la clasificación de los sistemas pequeños debería incluir:

- a) Todas las configuraciones propuestas del sistema incluyendo los esquemas hidráulicos y de control y las especificaciones que permitan al usuario entender el modo de funcionamiento del sistema.
- b) Lista de componentes a incluir dentro de las configuraciones del sistema, con referencias completas de dimensión y tipo. La identificación de los componentes de la lista deberá ser clara y sin ambigüedades.
- c) Una lista de combinaciones propuestas de opciones dimensionales en cada una de las configuraciones del sistema.
- d) Diagramas o tablas estableciendo el rendimiento del sistema bajo condiciones de referencia para cada combinación propuesta de opciones dimensionales en cada configuración del sistema. Las condiciones de referencia deberían estar completamente especificadas incluyendo supuestos hechos en cargas térmicas y datos climatológicos. Las cargas térmicas supuestas deberían de estar en el rango comprendido entre 0,5 y 1,5 veces la carga de diseño especificada por el fabricante.

#### **IX.2.B.2 Documentación para sistemas pequeños**

Todos los componentes de cada sistema pequeño a medida deberán ir provistos con un conjunto de instrucciones de montaje y funcionamiento entendibles, así como recomendaciones de servicio. Esta documentación deberá incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje, instalación, operación y mantenimiento.

Los documentos deberán ser guardados en un lugar visible (preferentemente cerca del acumulador), protegidos del calor, agua y polvo.

#### **IX.2.B.3 Documentos para sistemas grandes**

Cada sistema grande a medida deberá ir provisto con un conjunto de instrucciones de montaje y funcionamiento, así como recomendaciones de servicio. Esta documentación deberá incluir todas las instrucciones necesarias

para el montaje, instalación, operación y mantenimiento, y todas las de arranque inicial y puesta en servicio.

Los documentos deberán ser guardados en un lugar visible (preferentemente cerca del acumulador), protegidos del calor, agua y polvo.

#### **IX.2.B.3.1 Documentos con referencia a la puesta en servicio**

La documentación debería incluir:

- a) Todos los supuestos hechos en la carga (ofreciendo conjunto de valores en el intervalo  $\pm 30$  % sobre la carga media seleccionada).
- b) Referencia completa de los datos climáticos usados.
- c) Registro completo del método usado para el dimensionado del área de captadores, sistema(s) de almacenamiento e intercambiador de calor, incluyendo todas los supuestos (fracción solar deseada) y referencia completa a cualquier programa de simulación usado.
- d) Registro completo de los procedimientos usados para el dimensionado hidráulico del circuito de captadores y sus componentes.
- e) Registro completo de procedimientos usados para la predicción del rendimiento térmico del sistema, incluyendo referencia completa al programa de simulación usado.

#### **IX.2.B.3.2 Documentos de montaje e instalación**

Los documentos deberán cumplir con los puntos a), e), f), g), h), j) y k) de IX.2.A.2.

La descripción del montaje e instalación del sistema deberá dar lugar a una instalación correcta de acuerdo con los dibujos del sistema.

#### **IX.2.B.3.3 Documentos para el funcionamiento**

La documentación deberá cumplir con los párrafos a), f) y g) de IX.2.A.2. Los documentos deberán incluir también:

- a) Esquemas hidráulicos y eléctricos del sistema.

b) Descripción del sistema de seguridad con referencia a la localización y ajustes de los componentes de seguridad.

NOTA: Se debería dar una guía para la comprobación del sistema antes de ponerlo en funcionamiento de nuevo después de haber descargado una o más válvulas de seguridad.

c) Acción a tomar en caso de fallo del sistema o peligro, como está especificado según normativa de seguridad.

d) Descripción del concepto y sistema de control incluyendo la localización de los componentes del control (sensores). Éstos deberían estar incluidos en el esquema hidráulico del sistema.

e) Instrucciones de mantenimiento, incluyendo arranque y parada del sistema.

f) Comprobación de función y rendimiento.

4

## ESTUDIO ECONÓMICO

---

4. Presupuesto.....	2
4.1. Presupuesto y mediciones.....	2
4.2. Resumen de presupuesto.....	9
4.3. Estudio de amortización.....	10

**4.1. Presupuesto y mediciones.**

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
	<b>Capítulo Captación</b>
COLEC	Captador solar de placas planas $S_u = 3,6 \text{ m}^2$  Captador solar de placas planas con un recubrimiento altamente selectivo al vacío ( $\alpha = 95 \%$ , $\varepsilon = 5\%$ ), con una superficie bruta de captación de $3,72 \text{ m}^2$ y una cubierta de vidrio solar antireflectante de seguridad de 4mm de espesor. Totalmente instalado y probado.

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
16	900€	14400€

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
	<b>Capítulo Captación</b>
SOPORT	Soportes de aluminio para cubierta plana (1 colector) comercializado por Salvador Escoda

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
16	204€	3264€

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
	<b>Capítulo Intercambiador</b>
INTER	Intercambiador de calor de placas

Intercambiador de calor de placa plana de 10 kW de potencia térmica para la evacuación de energía solar térmica hacia calefacción cuando este encendida y de los excedentes hacia la piscina. Incluido montaje y prueba.

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
8	224,15€	1793,2€

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
--------	-------------

### Capítulo Almacenamiento

ACUM	<p>Termoacumulador de V = 559 L</p> <p>Termoacumulador solar de 559 L para el apoyo ACS con aislamiento a base de vidrio, con serpentín para la conexión con el circuito solar. Acumulador preparado para montaje de grupo bombeo digital y kit de producción instantánea de ACS, totalmente instalado y probado.</p>
------	---

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
8	1318€	5272€

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
--------	-------------

### Capítulo Regulación

REGSOL	<p>Sistema de regulación electrónica</p> <p>Regulación electrónica por diferencia de temperatura para el calentamiento de ACS con colectores solares y calderas. Con indicación digital de la temperatura, sistema</p>
--------	--



diagnóstico y balance de potencia, incluidos sensores, totalmente instalado y probado.

Regulación solar Deltasol Bs Pro para sistemas de energía solar con dos acumuladores con 4 sensores de temperatura.

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
4	211€	844€

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
--------	-------------

### Capítulo Recirculación

ESTMB-I	<p>Sistema primario de recirculación</p> <p>Estación de bombeo para el circuito primario con 1 termómetro para tubería bimetalico marca Gesa, caudalímetro ETWD marca Zenner y manómetro con caja de acero inoxidable marca Gesa. Con bomba primaria de circulación de presión de trabajo de 6 a 10 bar.</p>
---------	--

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
Bombas: 4	2285€	9140€
Termómetro: 4	11€	44€
Caudalímetro: 4	37,50€	150€
Manómetro: 4	15,40€	61,6€

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
--------	-------------

### Capítulo Recirculación

ESTMB-II

Sistema secundario de recirculación

Estación de bombeo para el circuito secundario uno para el retorno de la calefacción y otro de la piscina. Con bomba primaria de circulación de presión de trabajo de 10 bar.

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
8	2285€	18280€

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
--------	-------------

### Capítulo Conducciones

E22NTC0501

Metro de tubería de cobre D = 28 mm

Tubería de cobre de 28 mm. de diámetro, Norma UNE 37.141, para red de distribución de calefacción, con p.p. de accesorios, soldadura, pequeño material y aislamiento térmico s/IT.IC, probado a 10 kg/cm<sup>2</sup>.

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
401,64 m	6,63€ x 5m	537,03€

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
--------	-------------

### Capítulo Conducciones

E22NTC060

Metro de tubería de cobre D = 35 mm

Tubería de cobre de 35 mm. de diámetro, Norma UNE 37.141, para red de distribución de calefacción, con p.p. de

accesorios, soldadura, pequeño material y aislamiento térmico s/IT.IC, probado a 10 kg/cm<sup>2</sup>.

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
755,88 m	9,08€ x 5m	1380,16€

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
--------	-------------

### Capítulo Conducciones

VALV	<p>Valvulería</p> <p>Conjunto de válvulas de esfera, válvulas motorizadas de tres vías para la calefacción y la piscina, válvulas de retención y válvulas de seguridad, todas de la marca Salvador Escoda salvo las motorizadas que son de la marca Honeywell (V4044F), incluido p.p., montado y probado.</p>
------	---

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
De corte: 64	13,09 € (1")	418,88€
(32 de 1" y 32 de ¾")	7,74€ (¾")	247,68€
De retención: 16	9,10€ (¾")	145,16€
De seguridad: 24	57,50€ (1")	460€
(16 de ¾" y 8 de 1")	44,78 (¾")	716,48€
Motorizadas: 8	101,50€ (1")	812€

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
--------	-------------

### Capítulo Conducciones

AISL28

Aislamiento tubería de 28 mm.

Aislamiento de célula cerrada, altamente flexible con baja conductividad térmica para minimizar las pérdidas energéticas en instalaciones de calefacción e hidrosanitarias.

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
----------	-----------------	---------------

401,64 m	2,10€	843,4€
----------	-------	--------

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
--------	-------------

**Capítulo Conducciones**

AISL35

Aislamiento tubería de 35 mm.

Aislamiento de célula cerrada, altamente flexible con baja conductividad térmica para minimizar las pérdidas energéticas en instalaciones de calefacción e hidrosanitarias.

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
----------	-----------------	---------------

755,88 m	2,79€	2108,9€
----------	-------	---------

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
--------	-------------

**Capítulo Varios**

E22M250

Vaso de expansión de 5 L

Vaso de expansión de 5 litros con aislamiento, incluido p.p., montado y probado.

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
----------	-----------------	---------------

4	23,77€	95,08€
---	--------	--------

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
--------	-------------

	<b>Capítulo Varios</b>
--	------------------------

ACCPRIM	
---------	--

	Accesorios circuito primario
--	------------------------------

	Conjunto de sondas de calor compuesto por: una sonda en el serpentín de cada acumulador, una sonda para la parte de arriba de cada acumulador, sondas para el acumulador de la marca Hanna Instruments modelo HI 765DIP y modelo HI 766TV1 a la salida década uno de los colectores.
--	--

CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
----------	-----------------	---------------

Acumuladores: 8	72€	576€
-----------------	-----	------

Colectores: 16	58€	928€
----------------	-----	------

**4.2. Resumen del presupuesto.**

<b>CAPITULO</b>	<b>EUROS</b>	<b>%</b>
CAPTACIÓN	17664	28,32
INTER	1793,2	2,88
ALMACENAMIENT	5272	8,45
REGULACIÓN	844	1,35
RECIRCULACIÓN	27675,6	44,36
CONDUCCIONES	7538, 69	12,08
VARIOS	<u>1599,08</u>	<u>2,56</u>
<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>62386,57</b>	
13,00% Gastos generales.....	8118,25	
6,00% Beneficio industrial.....	3743,19	
1% Coste de mantenimiento.....	<u>623,86</u>	
	<b>SUMA DE G.G. y B.I.</b>	<b>74871,87</b>
21,00% I.V.A. ....		<u>15723,09</u>
<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA</b>		<b><u>90524,96</u></b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO GENERAL</b>		<b>90524,96</b>

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de NOVENTA MIL QUINIENTOS VEINTICUATRO EUROS con NOVENTAY SEIS CÉNTIMOS.

### 4.3. Estudio de amortización.

En el estudio económico se va a hacer un estudio de la amortización económica de los 20 años siguientes a la realización de la obra. Para determinar el momento en el que se recupera la inversión inicial y la instalación solar comienza a dar beneficios se calcula el valor actual neto (VAN). El VAN de una inversión o un proyecto de inversión mide la rentabilidad absoluta neta que proporciona el proyecto, es decir, mide en el momento inicial del proyecto, el incremento de valor que proporciona a los propietarios una vez descontada la inversión inicial. Para ello es necesario conocer unos datos de entrada:

- Precio de instalación: 90524,96 €.
- Consumo anual de combustible (gas natural): 350400 kWh.

Calculado en base al consumo por hogar y número de personas que lo ocupan.

Nº de personas en el hogar	Consumo medio de electricidad	Consumo medio de gas
1	1050 kWh	2000 kWh
2	2100 kWh	4000 kWh
3	2800 kWh	5350 kWh
4	3300 kWh	6350 kWh
5	3900 kWh	7450 kWh

Para este proyecto por edificio son 14 viviendas de tres personas, ( $14 \times 5350 = 74900$  kWh) y 2 duplex con cuatro habitantes ( $2 \times 6350 = 12700$  kWh). Lo que hace un consumo por edificio de 87600 kWh. Por lo que el consumo total en los cuatro edificios es 350400 kWh.

- Precio combustible: 0,050394 €/kWh.

Obtenido del BOE

- Evolución precio de combustible: 6,12 %/año.

Dato de la Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos (CORES).

- Evolución IPC: 3,20 %/año.

Dato estimado, basado en datos del INE.

- Apoyo ACS: 70%/año.

Con estos datos se obtienen los siguientes resultados:

AÑO	CONSUMO ANUAL (kWh)	AHORRO ANUAL DE COMBUSTIBLE (kWh)	PRECIO COMBUSTIBLE (€/kWh)	MANTENIMIENTO (€)	AHORRO ANUAL (€)	AHORRO ACUMULADO (€)	VAN	TIR
1	350.400,00	245.280,00	0,05	623,86	11.738,01	11.738,01	-76.824,11 €	-
2	350.400,00	245.280,00	0,05	642,58	12.475,84	24.213,84	-65.064,44 €	-
3	350.400,00	245.280,00	0,06	661,85	13.259,41	37.473,25	-52.566,18 €	-
4	350.400,00	245.280,00	0,06	681,71	14.091,53	51.564,78	-39.283,56 €	-
5	350.400,00	245.280,00	0,06	702,16	14.975,20	66.539,99	-25.167,99 €	-
6	350.400,00	245.280,00	0,07	723,22	15.913,59	82.453,58	-10.167,90 €	-
7	350.400,00	245.280,00	0,07	744,92	16.910,07	99.363,65	5.771,46 €	-
8	350.400,00	245.280,00	0,08	767,27	17.968,21	117.331,86	22.708,22 €	6%
9	350.400,00	245.280,00	0,08	790,29	19.091,80	136.423,66	40.704,07 €	8%
10	350.400,00	245.280,00	0,09	814,00	20.284,88	156.708,53	59.824,51 €	10%
11	350.400,00	245.280,00	0,09	838,42	21.551,71	178.260,24	80.139,06 €	12%
12	350.400,00	245.280,00	0,10	863,57	22.896,83	201.157,07	101.721,52 €	13%
13	350.400,00	245.280,00	0,10	889,48	24.325,06	225.482,13	124.650,22 €	14%
14	350.400,00	245.280,00	0,11	916,16	25.841,50	251.323,63	149.008,32 €	15%
15	350.400,00	245.280,00	0,12	943,64	27.451,59	278.775,22	174.884,07 €	16%
16	350.400,00	245.280,00	0,12	971,95	29.161,07	307.936,29	202.371,18 €	16%
17	350.400,00	245.280,00	0,13	1.001,11	30.976,05	338.912,34	231.569,07 €	17%
18	350.400,00	245.280,00	0,14	1.031,15	32.903,02	371.815,36	262.583,33 €	17%
19	350.400,00	245.280,00	0,15	1.062,08	34.948,86	406.764,21	295.525,97 €	17%
20	350.400,00	245.280,00	0,16	1.093,94	37.120,86	443.885,08	330.515,95 €	17%
21	350.400,00	245.280,00	0,17	1.126,76	39.426,79	483.311,87	367.679,48 €	18%

Como se aprecia en la tabla la instalación no es rentable hasta pasados siete años del montaje, que es un periodo bastante corto para este tipo de instalación. En el TIR se puede ver que a los 20 años se ha producido un ahorro de 18% con respecto al uso de gas natural.